



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV AUTOMOBILNÍHO A DOPRAVNÍHO
INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF AUTOMOTIVE ENGINEERING

PROVOZNÍ A ODLEHČOVACÍ BRZDY UŽITKOVÝCH VOZIDEL

BRAKES AND RETARDERS OF COMMERCIAL VEHICLES

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

JAKUB KALNICKÝ

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

Ing. JAN FOJTÁŠEK

BRNO 2015

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav automobilního a dopravního inženýrství

Akademický rok: 2014/15

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

student(ka): Jakub Kalnický

který/která studuje v **bakalářském studijním programu**

obor: **Základy strojního inženýrství (2341R006)**

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

Provozní a odlehčovací brzdy užitkových vozidel

v anglickém jazyce:

Brakes and retarders of commercial vehicles

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Rozbor týkající se problematiky brzdění těžkých nákladních vozidel, způsobů aplikací vhodných principů ke zpomalení jedoucího vozidla a konkrétních systémů nejčastěji využívaných k těmto účelům a jejich provedení.

Cíle bakalářské práce:

Práce zabývající se konstrukčním provedením a fyzikálními principy používanými k vyvození potřebných brzdných účinků. Shrnutí současného stavu poznání v dané oblasti, stejně tak jako odhad možného dalšího vývoje daných systémů v blízké budoucnosti.

Seznam odborné literatury:

GILLESPIE, T. D. Fundamentals of Vehicle Dynamics. Warrendale: Society of Automotive Engineers, 1992. ISBN 1-56091-199-9.

Olšan, M., Faus, P. Autoškola pro řidičské oprávnění skupin C, D, E, T. Cpress, 2007, 168s., ISBN: 978-80-251-1715-6.

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Jan Fojtášek

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2014/15.

V Brně, dne 5.11.2014

prof. Ing. Václav Píštěk, DrSc.
Ředitel ústavu



doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.
Děkan



ABSTRAKT

Táto bakalárska práca je odbornou rešeršou, pojednáva o brzdení úžitkových vozidiel. Práca je rozdelená na šesť základných častí. Prvá časť sa zaoberá históriou vzniku brzd. Druhá časť oboznamuje so základnou terminológiou a samotnou definíciou pojmu brzdenia. Tretia časť pojednáva o rozdelení brzdových sústav podľa účelu. Obsahom štvrtej a piatej časti sú trecie a spomaľovacie brzdy. Posledná časť je venovaná vývojovým trendom.

KLÚČOVÉ SLOVÁ

Trecia brzda, strmeň, brzdny segment, kotúč, bubon, odľahčovacia brzda, stator, rotor, rekuperácia

ABSTRACT

This bachelor's thesis is specialized search dealing with brakes of commercial vehicles. The work is divided into six main parts. The first part deals with genesis of brakes. The second part informs about fundamental terminology and definition of braking. The third part deals with distribution of braking systems by their purpose. Contents of fourth and fifth parts are friction brakes and retarders. The last part is dedicated to development trends of brakes.

KEYWORDS

Friction brake, caliper, brake pad, disc, drum, retarder, stator, rotor, regenerative braking



BIBLIOGRAFICKÁ CITÁCIA

KALNICKÝ, J. *Provozní a odlehčovací brzdy užitkových vozidel*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2015. 54 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Jan Fojtášek.



ČESTNÉ PREHLÁSENIE

Prehlasujem, že táto práca je mojím vlastným výtvorom, pracoval som na nej samostatne pod vedením Ing. Jana Fojtáška s využitím odbornej literatúry, ktorú som uviedol v zozname použitých zdrojov.

V Brne dňa 29. mája 2015

.....

Jakub Kalnický



POĎAKOVANIE

Ďakujem vedúcemu bakalárskej práce Ing. Janovi Fojtáškovi za jeho odborné vedenie, ďalej by som sa rád poďakoval všetkým pedagógom, ktorí ma na VUT v BRNE vyučovali. V neposlednej rade patrí vďaka rodine, priateľom a priateľke Veronike za podporu a poskytnutie tých správnych podmienok pre štúdium.



OBSAH

Úvod.....	10
1 História	11
2 Základná terminológia.....	12
2.1 Sily a momenty.....	12
2.2 Časy.....	12
2.3 Dráhy pri brzdení.....	13
2.4 Brzdné spomalenia.....	13
2.5 Iné	14
3 Rozdelenie brzdových sústav podľa účelu	15
3.1 Prevádzková brzdová sústava.....	15
3.2 Núdzová brzdová sústava.....	15
3.3 Parkovacia brzdová sústava.....	15
3.4 Odľahčovací brzdová sústava	15
3.5 Samočinná brzdová sústava.....	15
3.6 Požiadavky kladené na brzdy	16
4 Trecie brzdy	17
4.1 Kotúčové brzdy.....	17
4.1.1 Druhy kotúčových bŕzd.....	20
4.1.2 Konštrukcia kotúčových bŕzd.....	21
4.2 Bubnové brzdy.....	26
4.2.1 Druhy bubnových bŕzd	28
4.2.2 Konštrukcia bubnových bŕzd.....	29
4.3 Ovládanie trecích bŕzd	33
4.3.1 Hydraulické brzdové sústavy	34
4.3.2 Pneumatické brzdové sústavy	35
5 Odľahčovacie brzdy	39
5.1 Motorové brzdy	40
5.2 Výfukové brzdy	41
5.3 Elektromagnetické vírivé brzdy.....	42
5.4 Hydrodynamické brzdy.....	43
6 Vývojové trendy.....	44
6.1 Mechanické trecie brzdy	44
6.1.1 Konštrukcia	44
6.1.2 Trecie materiály.....	45
6.1.3 Ovládanie trecích bŕzd	45



6.2	Odľahčovacie brzdy.....	46
6.3	Rekuperačné brzdy	47
6.3.1	Elektromagnetické rekuperačné brzdy.....	47
6.3.2	Zotrvačnickové rekuperačné brzdy	48
6.3.3	Hydraulické rekuperačné brzdy.....	48
6.4	Brzdné systémy.....	48
Záver		49
Zoznam použitých skratiek a symbolov.....		53



ÚVOD

Brzdy sú súčasťou každodenného života, mnohí si ani neuvedomujú akú zásadnú úlohu v ňom hrajú. Význam brzd je priam životne dôležitý.

Princíp brzdenia spočíva v premene jedného typu energie na typ iný. Najčastejšie je to premena kinetickej energie na energiu tepelnú. Toto strojné zoskupenie sa vyskytuje v rôznych technických aplikáciách. Brzdy slúžia na spomalenie, zastavenie alebo zaistenie protipohybu osôb a bremien. S brzdami sa stretávame v motorových či nemotorových dopravných prostriedkoch, ďalej to sú rôzne výtahy, dopravníky, lanovky, eskalátory, obrábacie stroje a mnoho ďalších strojných zoskupení.

Vzhľadom k tomu ako sa už vyššie spomenulo, že brzdy v prvom rade a priamo ochraňujú hodnotu ľudského života alebo iného bremena, je potrebné venovať im mimoriadnu pozornosť. Táto pozornosť by mala byť mimoriadna či už z hľadiska právnych predpisov, technických princípov, konštrukčných riešení, či použitia vhodných materiálov a v dnešnej pokrokovej dobe aj využitia energie premenenej brzdou. Táto bakalárska práca si za cieľ stanovuje objasnenie funkcie a fyzikálnych princípov používaných k vyvodeniu brzdného účinku a odhad ďalšieho vývoja v tejto oblasti.



1 HISTÓRIA

História brzd siaha do vzdialenej minulosti. Predpokladá sa, že prvé brzdy v nadnesenom slova zmysle vznikli zároveň so vznikom prvého kolesa v Mezopotámii približne pred 7000 rokmi. Najstaršie zachované drevené koleso bolo objavené v roku 2002 pri Slovinskej Ľubl'ane vid' obr. 1.1 [12]. Rádio-karbónová metóda datovania určila približný vek na 5200 rokov. Koleso využívali na prvých primitívnych vozíkoch, ktoré slúžili na prepravu osôb a bremien. Brzdy v nadnesenom slova zmysle preto, lebo išlo skôr o pasívny odpor pri otáčaní kolesa či už vplyvom čapového trenia, alebo valivého odporu. Podobne za brzdú možno považovať spomaľovanie vozidla idúceho dolu kopcom pomocou ľudskej, prípadne zvieracej sily [36].



Obr. 1.1 Najstaršie zachované drevené koleso, Slovinsko Ľubl'ana [29]

Postupom času ako sa zväčšovali bremená, bolo potrebné skonštruovať brzdú v skutočnom slova zmysle, riešením boli mechanické trecie brzdy. Išlo napríklad o pomerne primitívny, ale zato účinný radiálny typ trecej brzd s vonkajšou čeľusťou, kedy zaskrutkovaním piestu so závitom obsluha vytvorila tlak na obvodovú časť kolesa. Ďalším typom bol klin, ktorý bol jednou plochou opretý a tuhý rám stroja a druhou časťou sa dotýkal kolesa, spomaľoval, zastavil vozidlo, alebo zaisťoval vozidlo proti pohybu v kopci.

Najväčší rozmach brzdy zažili v rozvíjajúcom sa priemysle. Od 17. storočia vypukol najmä v západnej časti Európy prudký rozvoj manufaktúr a v 18. a 19. storočí aj mechanizovaných tovární. Stroje používané v manufaktúrach a továrňach často využívali na zastavenie pohybu najrôznejšie typy brzd. Brzdy ako neodmysliteľná súčasť dopravných prostriedkov sa začali presadzovať až v 30. rokoch 18. storočia. V roku 1902 sa uskutočnil v New Yorku test troch rozličných typov brzd. Išlo o núdzové brzdenie z rýchlosti 22 km/h. Ranson E. Olds výrobca prvého sériovo vyrábaného vozidla na svete (Olds Curved Dash) predaného v počte 12 433 kusov zvíťazil s pásovou brzdou. Zastavil na dráhe 6,5 metra. Druhé v teste skončilo vozidlo brzdené čeľusťovými brzdami, ktoré sa dodnes využívajú pomerne vo veľkom množstve, vozidlo zastavilo na dráhe 11,2 m. Posledný skončil koč ťahaný štvorzáprahom a brzdený klátikovou brzdou, ktorý zastavil po 23,6 m [25].



2 ZÁKLADNÁ TERMINOLÓGIA

Podľa definície uvedenej v norme STN 30 0029-84 pod pojmom brzdenie rozumieme všetky činnosti, ktoré prebiehajú od aktivácie brzdového spúšťača až po uvoľnenie brzdy alebo zastavenie vozidla [11].

2.1 SILY A MOMENTY

Celková brzdná sila F_f [N] - súčet všetkých brzdnych síl pôsobiacich na každom kolese proti rýchlosti pohybujúceho sa vozidla vyvolaná brzdou sústavou, medzný stav adhézie je stav, kedy sa brzdá sila vyrovná sile adhézne [11].

Ovládacia brzdá sila K [N] - sila vyvolaná osobou na ovládací prvok brzdnej sústavy alebo iným zdrojom [11].

Prítlačná sila N [N] - sila pôsobiaca priamo v brzde vyvolaná ovládacou brzdou silou [11].

Brzdny moment M_B [N·m] - je súčin trecích síl v brzdách a ramena (kolmá vzdialenosť pôsobiska trecej sily od osi otáčania rotor) [11].

2.2 ČASY

Priebeh brzdenia vozidla až po jeho úplne zastavenie vid' obr. 2.1.

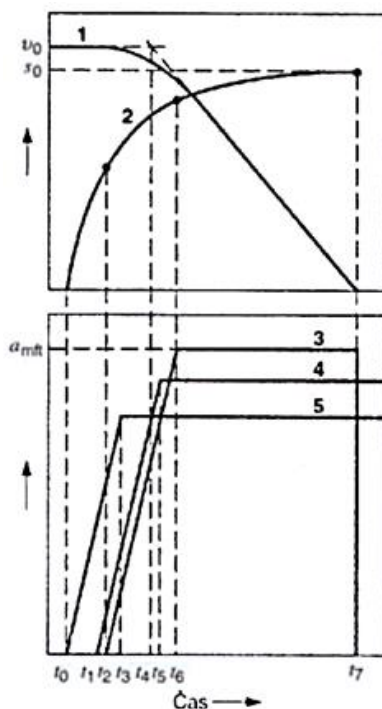
Čas brzdenia t_b [s] - časový interval od začiatku aktivácie brzdnej sústavy osobou po koniec jeho deaktiváciu alebo pokiaľ vozidlo nezastane ($t_7 - t_0$) [11].

Čas nábehu brzdenia t_s [s] - doba, odkedy sa začne prejavovať brzdny účinok až po jeho plný účinok ($t_5 - t_1$) [11].

Účinný čas brzdenia t_w [s] - doba odkedy sa začne prejavovať brzdny účinok až, pokiaľ sa brzdá sústava nedeaktivuje alebo vozidlo zastane ($t_7 - t_2$) [11].

Čas odozvy (technického oneskorenia brzd) t_a [s] - čas od začiatku aktivácie brzdnej sústavy osobou, až pokiaľ sa nezačne prejavovať brzdny účinok ($t_1 - t_0$) [11].

Čas pohybu ovládacieho ústrojenstva [s] - čas od začiatku pôsobenia na ovládacie ústrojenstvo (t_0) až do dosiahnutia konečnej polohy ovládacieho ústrojenstva (t_3), podobne aj pre uvoľnenie ovládacieho ústrojenstva brzdy [11].



Obr. 2.1 Priebeh brzdenia vozidla (ideálny prípad) [11]

Na obr. 2.1 možno vidieť: **1** - rýchlosť vozidla, **2** - dráha vozidla počas brzdenia, **3** - spomalenie vozidla, **4** - tlak v potrubí, **5** - dráha pohybu ovládacieho ústrojenstva, t_0 - okamih začiatku pôsobenia na ovládacie ústrojenstvo, t_1 - okamih zvyšovania brzdného tlaku v potrubí, t_2 - okamih kedy sa začne prejavovať spomalenie vozidla, t_3 - okamih, kedy ovládacie ústrojenstvo dosiahne požadovanú polohu, t_4 - priesečník predĺženia kriviek priebehu rýchlosti, t_5 - okamih, kedy tlak v potrubí dosiahol konštantnú hodnotu, t_6 - okamih kedy dosiahlo spomalenie vozidla konštantnú hodnotu, t_7 - okamih zastavenia vozidla [11].

2.3 DRÁHY PRI BRZDENÍ

Brzdná dráha s_l [m] - vzdialenosť, ktorú prejde vozidlo počas účinného času brzdenia ($t_7 - t_2$) [11].

Dráha na zastavenie s_0 [m] - vzdialenosť, ktorú prejde vozidlo počas času brzdenia ($t_7 - t_0$) [11].

2.4 BRZDNÉ SPOMALENIA

Okamžité spomalenie a [$\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$] - je podiel zmeny rýchlosti za zmenu času [11].

$$a = \frac{dv}{dt} \quad (1)$$

kde: dv - diferenciál rýchlosti [$\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$]
 dt - diferenciál času [s]



Stredné spomalenie na dráhe pre zastavenie $a_{ms} [\text{m}\cdot\text{s}^{-2}]$ - z rýchlosti v_0 v čase t_0 vznikne stredné spomalenie vo vzdialenosti s_0 [11].

$$a = \frac{v_0^2}{2 \cdot s_0} \quad (2)$$

kde: v_0 - rýchlosť v čase t_0 [$\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$]
 s_0 - vzdialenosť [m]

Úplné brzdné spomalenie $a_{mf} [\text{m}\cdot\text{s}^{-2}]$ - stredná hodnota spomalenia v časovom intervale $(t_7 - t_6)$ [11].

2.5 INÉ

Brzdny súčiniteľ [-] - pomer brzdneho spomalenia a tiažového zrýchlenia [5].

Brzdny sklon [%]¹ - maximálny sklon svahu, ktorý vozidlo pri jeho celkovej hmotnosti parkovacia brzda zaistí bez pretočenia kolies. Pri osobných automobiloch minimálne 18% pri nákladných vozidlách a autobusoch jednotlivého vozidla najmenej 18% pri súprave minimálne 12% [5].

Brzdny výkon [W] - súčin brzdnej sily [N] a rýchlosti vozidla [$\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$] [5].

Rozdelenie brzdnej sily [%] - percentuálne rozdelenie brzdnej sily pôsobiacej na jednotlivé nápravy vzťahnuté k celkovej brzdnej sile [5].

¹ Prepočet brzdneho sklonu z percent na stupne. a [°], b [%]
 $a = \arctg(b/100)$



3 ROZDELENIE BRZDOVÝCH SÚSTAV PODĽA ÚČELU

Podľa normy ČSN 30 0035 rozoznávame tieto brzdové sústavy [31].

3.1 PREVÁDZKOVÁ BRZDOVÁ SÚSTAVA

Prevádzková brzdová sústava slúži k ovládaniu vozidla, zníženiu rýchlosti vozidla, prípadne spoľahlivému a rýchlemu zastaveniu vozidla. Náležitosti musí dodržiavať pri ľubovoľnej rýchlosti, okamžitej hmotnosti a úrovni stúpania či klesania svahu. Vozidlo sa nemôže odchýliť od daného smeru. Pri brzdení musí byť brzdný účinok vyvinutý na všetky kolesá tohto vozidla. Prevádzkové brzdy sú ovládané nohou vodiča, takéto brzdenie musí mať regulovateľnú intenzitu [15].

3.2 NÚDZOVÁ BRZDOVÁ SÚSTAVA

Núdzová brzdová sústava sa používa na zastavenie vozidla v prípade núdze alebo ak dôjde k poruche prevádzkovej brzdovej sústavy. Núdzová brzdová sústava musí brzdiť aspoň jedno koleso na každej strane vozidla. Sústava nemusí byť samostatná, môže to byť uzavretý neporušený okruh dvoj a viacokruhovej prevádzkovej brzdy. Za núdzovú brzdovú sústavu možno považovať aj brzdú parkovaciu. Odľahčovaciu brzdovú sústavu nemožno považovať za núdzovú brzdú, pretože neslúži k zastaveniu vozidla [15].

3.3 PARKOVACIA BRZDOVÁ SÚSTAVA

Slúži k zamedzeniu pohybu vozidla, súpravy alebo prípojného vozidla odpojeného od ťažného vozidla a to hlavne v kopci (v stúpaní aj klesaní). Aktívne prvky brzdzenia musia byť založené čisto na mechanickom princípe. Zabrzdené musí byť minimálne jedno koleso na každej strane vozidla. Parkovaciu brzdovú sústavu možno užívať aj bez prítomnosti vodiča [15].

3.4 ODĽAHČOVACIA BRZDOVÁ SÚSTAVA

Odľahčovacia alebo inak nazývaná spomaľovacia brzdová sústava prípadne retardér slúži k spomaleniu vozidla teda zníženiu rýchlosti hlavne pri dlhých tiahlych klesaniach bez použitia prevádzkovej, núdzovej alebo parkovacej brzdy. Sústava sa využíva pri ťažkých vozoch náchylných na prehrievanie prevádzkových brzd, odľahčuje zaťaženie prevádzkových brzd. Účelom odľahčovacích brzd nie je vozidlo zastaviť [15].

3.5 SAMOČINNÁ BRZDOVÁ SÚSTAVA

Zostava súčastí ktorá samostatne brzdi vozidlo prípadne súpravu úmyselne alebo náhodne odpojenú od vozidla ťažného [31].



3.6 POŽIADAVKY KLADENÉ NA BRZDY

V celkovom prípustnom hmotnostnom rozsahu vozidla musia brzdy vozidlo zastaviť nanajvýš na vzdialenosť s_0 uvedenú v tabuľke 3.1. Premenné a_{ms} a t_a sú vypočítané, zvyšné údaje pochádzajú z EHK č. 13, vid' tiež vyhl. č. 102/1995 Sb [31].

Tab. 3.1 Požiadavky kladené na brzdy podľa EHK-R13, ES 71/320 a vyhlášky č. 102/1995 Sb. [31]

Kategoríe vozidiel podľa EHK-R 13 (druh, max. hmotnosť m)		Preprava osôb		Preprava nákladu		
		Osobné automobily M1	Autobusy		Nákladné automobily	
			m≤5t M2	m>5t M3	m≤3,5t N1	3,5>m≤12t N2 m>12t N3
Prevádzkové brzdenie	Počiatočná rýchlosť v_0	80 km/h	60 km/h		70 km/h	50 km/h 40 km/h
	Max. dráha na zastavenie s_0	$0,1 \cdot v_0 + \frac{v_0^2}{150}$ $s_0=50,7$ m	$0,15 \cdot v_0 + \frac{v_0^2}{130}$ $s_0=36,7$ m		$0,15 \cdot v_0 + \frac{v_0^2}{115}$	
					$s_0=53,1$ m	$s_0=29,2$ m $s_0=19,9$ m
	Max. nožná sila F_a	500 N	700 N		700 N	
	Max. čas odozvy t_a	0,36 s	0,54 s		0,54 s	
	Spomalenie a_{ms}	5,8 m/s ²	5 m/s ²		4,4 m/s ²	
Núdzové brzdenie	Max. dráha na zastavenie s_0	$0,1 \cdot v_0 + \frac{2 \cdot v_0^2}{150}$ $s_0=93,4$ m	$0,15 \cdot v_0 + \frac{2 \cdot v_0^2}{130}$ $s_0=64,4$ m		$0,15 \cdot v_0 + \frac{2 \cdot v_0^2}{115}$	
					$s_0=95,7$ m	$s_0=51,0$ m $s_0=33,8$ m
	Max. ručná sila F_r	400 N	600 N		600 N	



4 TRECIE BRZDY

Princíp trecích brzd spočíva v šmykovom kontakte dvoch súčastí, ktoré vplyvom prítláčnej nenulovej normálovej sily a nenulového koeficientu šmykového trenia v mieste styku vytvárajú treciu (brzdiacu) silu. Pri takomto brzdení dochádza k premene translačnej kinetickej energie vozidla a rotačnej kinetickej energie niektorých jeho častí (napr. kolies, hriadeľov, častí prevodovky, atď.) na tepelnú energiu. Brzda sa najčastejšie objavuje priamo v kolese vozidla, pri ťažších vozidlách sa niekedy za účelom zníženia hmotnosti neodpružených častí vozidla brzda umiestňuje do skríň rozvodovky hnanej nápravy. Vozidlá sú brzdené dvoma typmi brzd kotúčovými alebo bubnovými. Pásové brzdy sa využívajú k brzdeniu pásov pásových vozidiel pri zatáčaní alebo v automatických prevodovkách. Ako parkovacia brzda niektorých nákladných vozidiel sa používa prevodová brzda, ktorá je umiestnená v prevodovom ústrojenstve. V praxi sa trecie brzdy väčšinou používajú ako brzdy prevádzkové, núdzové a parkovacie [31].

VÝHODY TRECÍCH BRZD

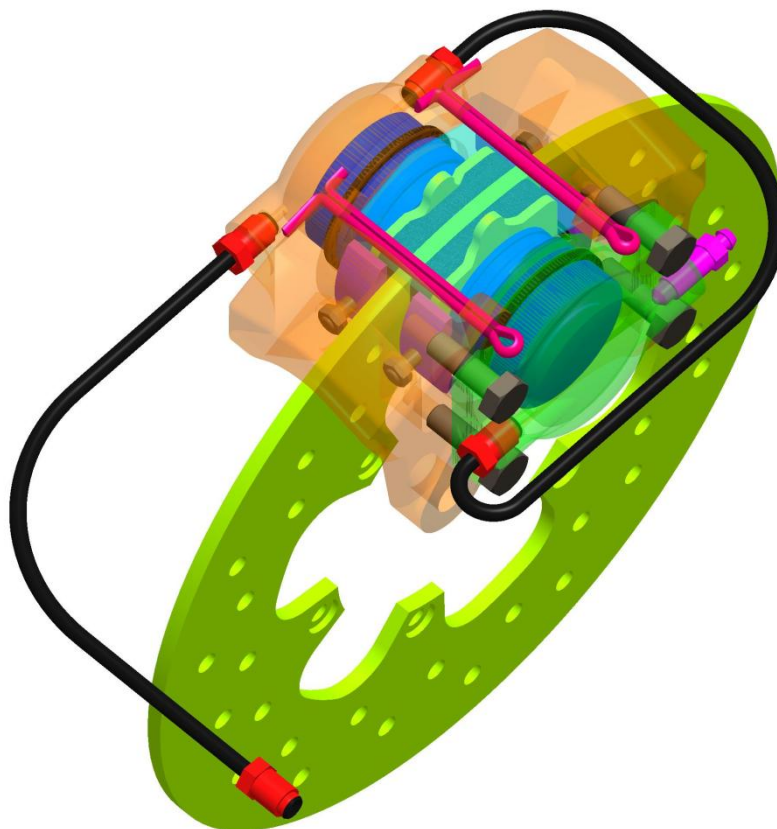
1. jednoduchá konštrukcia
2. vysoká účinnosť a spoľahlivosť
3. nízka hmotnosť
4. rýchly nástup brzdného účinku (možnosť použitia so systémami ABS, ESP, EDS, ...)
5. pomerne nízka cena

NEVÝHODY TRECÍCH BRZD

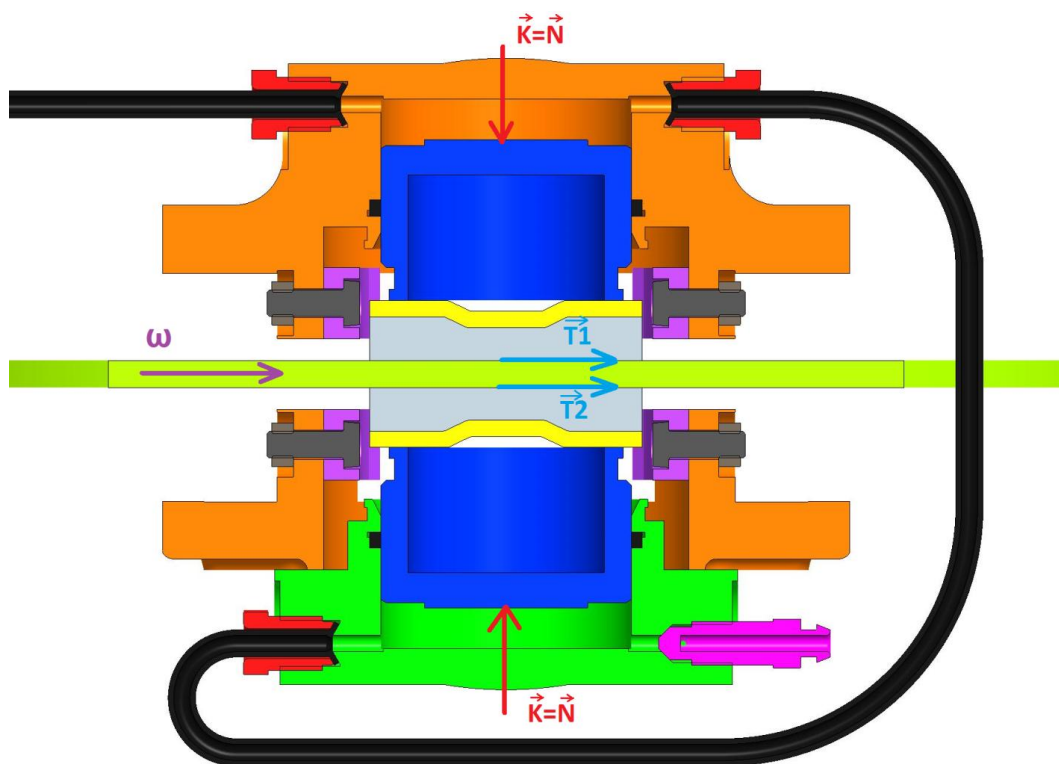
1. opotrebenie jednotlivých trecích komponentov
2. zdravotná a ekologická záťaž v podobe jemného prachu
3. náchylné na prehrievanie a s tým súvisiaca strata brzdného účinku
4. citlivé na znečistenie trecích plôch (zníženie koeficientu trenia) strata brzdného účinku
5. marenie energie

4.1 KOTÚČOVÉ BRZDY

Patria do skupiny mechanických axiálnych brzd. Brzdiaca sila je vytváraná medzi kotúčom, ktorý sa otáča spolu s kolesom a brzdným segmentom, ktorý je posuvne uložený na brzdovom strmeni tvaru U. Strmeň je následne pevne uložený na náprave vozidla. Kotúčové brzdy sa používajú primárne ako brzdy prevádzkové ich použitie ako brzdy parkovacie si vyžaduje komplikovanejšie konštrukčné riešenia. Aj toto je jeden z dôvodov, prečo sa na zadnej náprave osobných automobilov nižšej triedy používa brzda bubnová, ktorá si ako brzda parkovacia vyžaduje jednoduchšie konštrukčné riešenia. Brzdy kotúčové sú v praxi ovládané hlavne hydraulicky na vozidlách s nižšou hmotnosťou vid' obr. 4.1. Pneumaticko-mechanické ovládanie sa často objavuje na ťažších nákladných vozidlách [11].



Obr. 4.1 Model kotúčovej brzdy s priehľadným strmeňom (vlastný obrázok autora)



Obr. 4.2 Model kotúčovej brzdy v reze (vlastný obrázok autora)



Z obr. 4.2 vyplýva, že trecia sily T_1 a T_2 [N] sú rovnako veľké. Ovládacia sila K [N] je v tom prípade rovná prítlačnej sile N [N], μ [-] je súčiniteľ šmykového trenia (v tomto prípade medzi kotúčom a brzdým segmentom) [31].

$$T_1 = T_2 = N \cdot \mu \quad (3)$$

Pre brzdny moment M_B [N·m] platí [31]:

$$M_B = (T_1 + T_2) \cdot r = 2 \cdot N \cdot \mu \quad (4)$$

kde: r - je kolmá vzdialenosť ťažiska plochy brzdneho segmentu od osi otáčania kotúča [m]

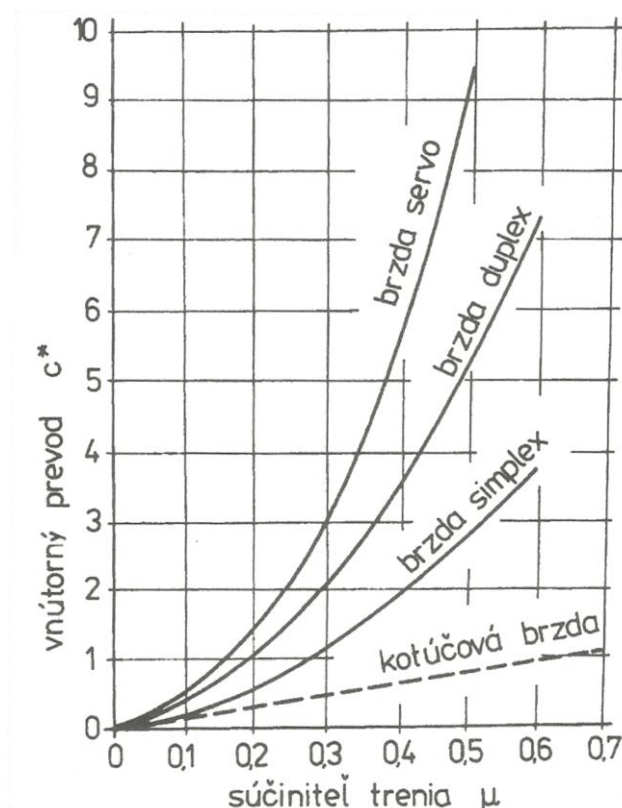
Pre vnútorný prevod brzdy c^* [-] platí [31]:

$$c^* = \frac{\sum T_i}{K} = 2 \cdot \mu \quad (5)$$

Pre kotúčovú brzdú je funkcia c^* lineárne závislá na μ (viď obr. 4.3) to znamená [31]:

$$\frac{dc^*}{d\mu} = konst. \quad (6)$$

Z toho vyplýva, že stabilita brzdneho účinku nie je príliš citlivá na zmenu súčiniteľa šmykového trenia [31].



Obr. 4.3 Charakteristika trecích brzd- závislosť vnútorného prevodu na súčiniteli trenia [31]

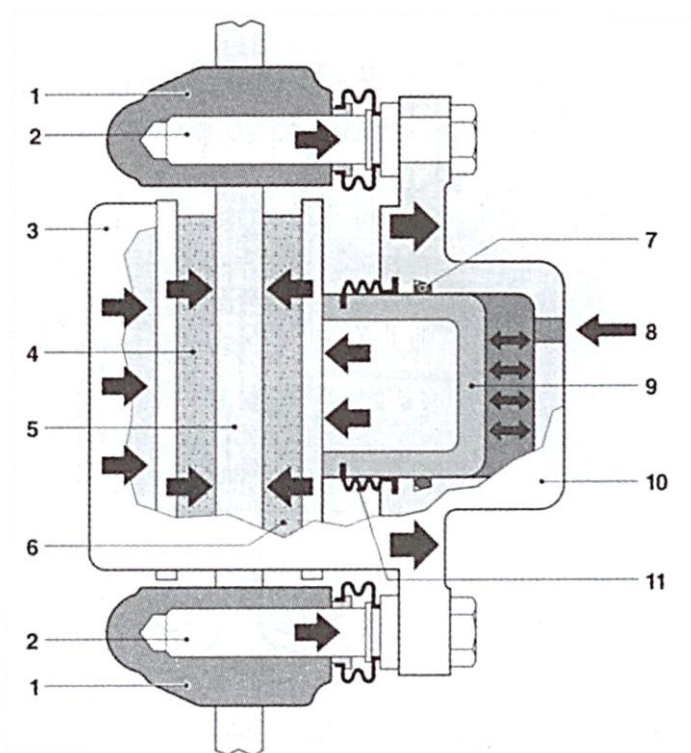


4.1.1 DRUHY KOTÚČOVÝCH BRZD

Podľa uloženia strmeňa rozoznávame tieto typy kotúčových brzd:

BRZDA S PLÁVAJÚCIM STRMEŇOM

Brzda s plávajúcim strmeňom vyvoláva prítlačnú silu medzi brzdovým obložením a kotúčom. Plávajúci strmeň zachytáva brzdné sily cez brzdové obloženie a prenáša ich na pevne časti vozidla. Kotúčová brzda s plávajúcim strmeňom má hydraulické valce popripade iné vyvolávače prítlačnej sily iba z jednej strany strmeňa. Tento prítlačný mechanizmus pritláča vnútorné brzdové obloženie priamo na kotúč, na základe akcie a reakcie dôjde k posunutiu strmeňa, ktorý je posuvne uložený na dvoch vodiacich čapoch opačným smerom. Na náprotivnej strane je v strmeni uchytený druhý brzdny segment, ktorý následne tlačí na kotúč rovnako veľkou a opačne orientovanou prítlačnou silou ako segment prvý. Strmeň samočinne nastavuje vôľu. Brzda s plávajúcim strmeňom je na údržbu jednoduchšia, ako brzda s plávajúcim rámom, z ktorej bola vyvinutá. Medzi hlavne výhody brzdy s plávajúcim strmeňom oproti brzde s pevným strmeňom patria menšie rozmery, nižšia hmotnosť, menšia pravdepodobnosť vzniku parných bublín v brzdovej kvapaline. Nevýhoda je možnosť zadrenia strmeňa na čapoch, v takomto prípade sa výrazne zníži brzdny účinok [31]!



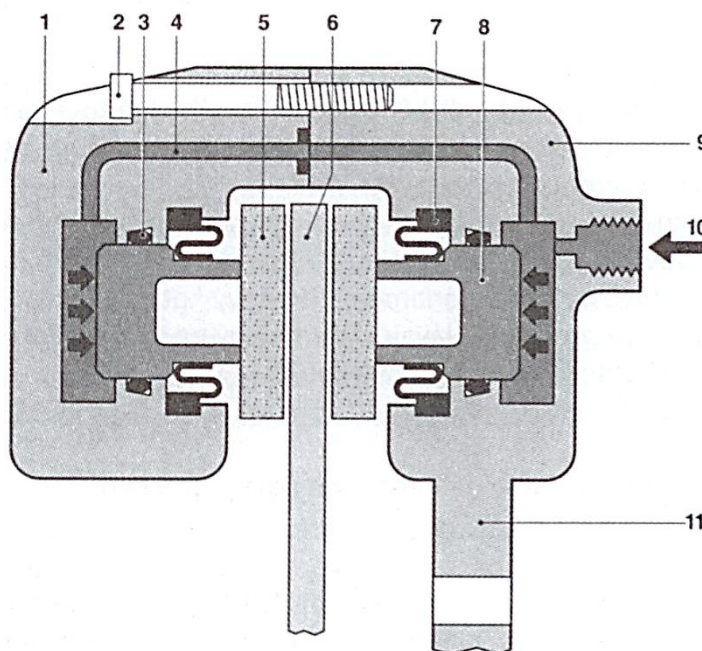
Obr. 4.4 Kotúčová brzda s plávajúcim strmeňom [11]

Na obr. 4.4 sú viditeľné tieto časti: 1 - držiak, 2 - vodiace čapy, 3 - spodok strmeňa, 4 - vonkajšie brzdové obloženie, 5 - brzdový kotúč, 6 - vnútorné brzdové obloženie, 7 - tesniaci krúžok piesta, 8 - prípojka od hlavného brzdového valca, 9 - brzdový piest, 10 - strmeň, 11 - ochranná manžeta [11].



BRZDA S PEVNÝM STRMEŇOM

Brzda s pevným strmeňom, vid' obr. 4.5 vytvára prítlačnú silu prostredníctvom hydraulických valcov alebo iných prítlačných mechanizmov. Tieto prítlačné mechanizmy sú uložené z oboch strán kotúča priamo proti sebe. Počet valcov býva 2 (rovnakého priemeru a súoso uložených), 4 (rovnakého priemeru a každá dvojica je súoso uložená) alebo 3 (jeden valec väčšieho priemeru na jednej strane kotúča a dva menšie na strane druhej, pričom súčet plôch menších piestikov musí byť rovnaký ako, plocha veľkého piestiku). Strmeň je pevne uložený na náprave a prenáša brzdné sily prostredníctvom posuvne uložených brzdných segmentov. Brzda samostatne vymedzuje vôľu medzi brzdným obložením a kotúčom. Brzda s pevným strmeňom je oproti brzde s plávajúcim strmeňom o niečo tuhšia a robustnejšia preto, sa používa hlavne na ťažších a rýchlych vozidlách [31].



Obr. 4.5 Kotúčová brzda s pevným strmeňom [11]

Na obr. 4.5 sú viditeľné: 1 - teleso, strmeň (uzatváracia časť), 2 - spojovacie svorníky telesa, 3 - tesniaci krúžok piesta, 4 - prepojovací kanál hydrauliky, 5 - brzdové obloženie (brzdové platničky), 6 - brzdový kotúč, 7 - ochranná manžeta, 8 - piest, 9 - teleso, strmeň (prírubová časť), 10 - prípojka od hlavného brzdového valca, 11 - pripevňovacia príruha [11].

4.1.2 KONŠTRUKCIA KOTÚČOVÝCH BRZD

Konštrukcia kotúčových brzd podlieha podobným pravidlám ako konštrukcia ktoréhokoľvek iného strojného zoskupenia. Dôraz je kladený primárne na funkčnosť, a tým pádom bezpečnosť ďalšími aspektmi sú jednoduchá údržba, životnosť, cena atď. Týmto kritériám podlieha výber vhodného materiálu návrh princípov a rozmerov jednotlivých komponentov. Kotúčové brzdy sú v porovnaní s brzdami bubnovými výkonnejšie, taktiež sú jednoduchšie a ľahšie výsledkom je lepšia ovládateľnosť vozidla. Ďalšou výhodou je jednoduchá vizuálna kontrola opotrebenia brzdných segmentov a následná jednoduchšia výmena. Nevýhodou sú náchylnosť na zablokovanie a vystavenie vonkajším vplyvom [10].

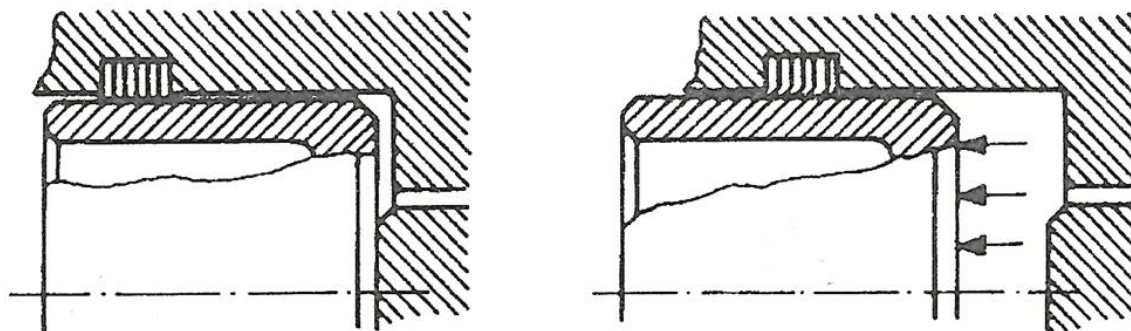


SAMOČINNÉ VYMEDZENIE VÔLE HYDRAULICKÝCH KOTÚČOVÝCH BRZD

Pre správne fungovanie brzdy je potrebné zaistiť vždy rovnakú vzdialenosť brzdneho segmentu od kotúča a automaticky ju nastavovať v závislosti na opotrebení trecích plôch. Keby bola táto vzdialenosť príliš veľká, pri aktivácii brzdy by nebol vyvinutý dostatočný brzdny účinok. Naopak, keby bola príliš malá, dochádzalo by k zbytočnému pribrzdňovaniu a tým aj opotrebeniu trecích plôch a zbytočnému prehrievaniu brzdy.

Vymedzenie vôle pomocou tesniaceho krúžku:

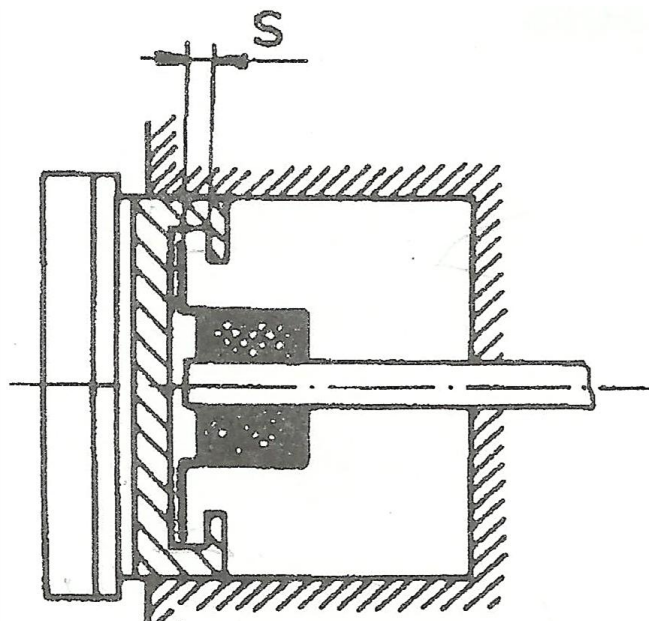
V drážke brzdového valca sa nachádza gumové tesnenie piestu, ktoré zabráňuje úniku brzdovej kvapaliny zabezpečuje oddelenie brzdovej kvapaliny od okolitej atmosféry nečistôt a vody. Tesnenie je na pieste nasadené s presahom. Pri brzdení dôjde k vysunutiu piestu a elastickej deformácii tesnenia. Po znížení tlaku v potrubí, sa elasticky zdeformované tesnenie vráti do pôvodného stavu, a tým zasunie piest späť do valca. Vzdialenosť o ktorú sa piest zasunie späť, sa nazýva brzdová vôľa. Vôľa bežne dosahuje okolo 0,15mm vid'. obr. 4.6 [15].



Obr. 4.6 Vymedzenie vôle pomocou tesniaceho krúžku [31]

Vymedzenie vôle pomocou trecieho krúžku:

Plastový krúžok je posuvne uložený na čape v ose hydraulického valca. Vôľa S umožňuje posúvanie piestu a zaisťuje jeho polohu v odbrzdenom stave. Po vyčerpaní tejto vôle pri brzdnení sa tento krúžok presunie do novej polohy. Týmto určí novu polohu vysunutia piestu v odbrzdenom stave vid'. obr. 4.7 [31].



Obr. 4.7 Vymedzenie vôle pomocou trecieho krúžku [31]

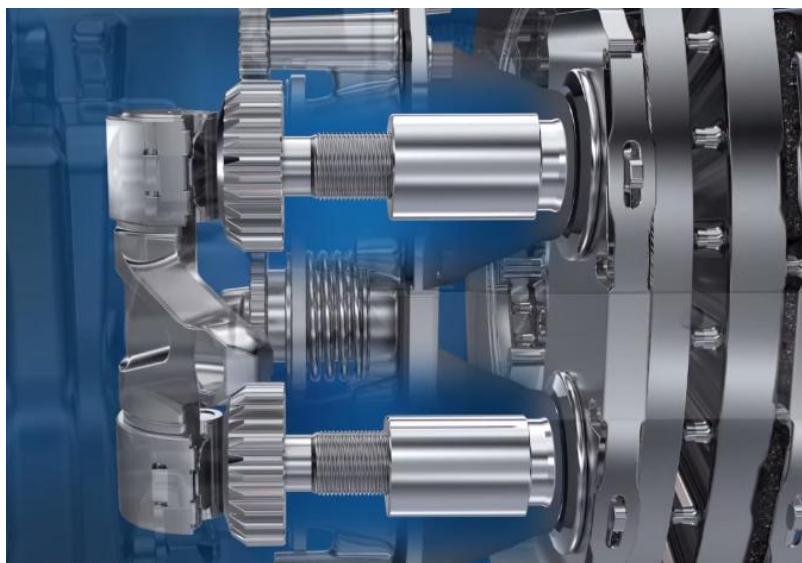
SAMOČINNÉ VYMEDZENIE VÔLE PNEUMATICKO-MECHANICKÝCH KOTÚČOVÝCH BŔZD

Samočinné nastavenie vôle je založené buď na spojení pružiny so skrutkovým mechanizmom, alebo napríklad ako na obr. 4.8, na princípe spolu zaberajúcich ozubených kolies, pružine, skrutkovom mechanizme, prítlačnom mechanizme a jednosmernej momentovej spojke.



Obr. 4.8 Meritor pneumatická kotúčová brzda odbrzdená EX225 [16]

Na obr. 4.8 sú nasledujúce komponenty: 1 - prítlačné rameno, 2 - jednostranná momentová spojka s pružinou, 3 - maticová časť piestu, 4 - skrutková časť piestu, 5 - brzdny segment, 6 - brzdový kotúč [16].



Obr. 4.9 Meritor pneumatická kotúčová brzda zabrzdená EX225 [16]

Brzdny tlak je vyvolaný pneumatickým valcom a prenášaný pomocou tiahla, ktoré končí guľovým kĺbom. Tento kĺb zapadá do jamky na prítlačnom ramene 1, to následne tlačí na skrutkovú časť oboch piestov 4. (Pokiaľ je brzdový segment 5 príliš vzdialený od kotúča 6, dôjde k uzavretiu spojky 2. Uzavretie spojky vedie k pootočeniu stredného ozubeniu vplyvom posunutia páky. Ten rovnakým pootočením oboch skrutkových častí piestu súčasne vyskrutkuje maticovú časť piestu 3, a tým zmenší brzdovú vôľu zväčšenú opotrebením kotúča a brzdnych segmentov späť na pôvodnú.) Pokiaľ je vzdialenosť správna, dôjde iba k posunutiu skrutkovej časti a maticovej časti oboch piestov, ktoré následne pritlačia brzdový segment na kotúč a vytvoria prítlačnú silu vid' obr. 4.9. Po uvoľnení brzdneho tlaku pružina umiestnená okolo spojky posunie plech, ktorý je pod ozubenou časťou skrutkových piestov a odsunie brzdne segmenty od brzdového kotúča. Tým uvedie brzdú do pôvodného stavu pred brzdením vid' obr. 4.8.

BRZDOVÉ KOTÚČE

Na obr. 4.10 je niekoľko prípadov prevedenia brzdového kotúča. Na brzdový kotúč sú kladené základné požiadavky: mechanická pevnosť, odolnosť voči opotrebeniu. K žiadaným brzdovým vlastnostiam môžeme zaradiť vysoký súčiniteľ trenia medzi brzdovým kotúčom a brzdým segmentom aj pri vysokých teplotách. Nízka citlivosť zmeny súčiniteľa trenia v závislosti na znečistení trecích plôch. Riešenie týchto brzdnych požiadaviek si vyžadujú konštrukčné riešenia či už z pohľadu voľby vhodného materiálu, tak i z pohľadu geometrického tvaru kotúča. V dnešnej dobe sa využívajú hlavne legované šedé liatiny alebo oceľoliatiny. Z geometrického hľadiska sa používajú dva základne typy ploché a hrncovitý tvar. Hrncovitý tvar je vhodnejší, a to kvôli lepšej odolnosti voči zvlnieniu kotúča, taktiež lepšie predchádzajú prehrievaniu ložiska kola [31]. Bočné drážkovanie kotúča sa používa hlavne z dôvodu odvodu prachu odvalujúceho sa medzi brzdovou platničkou a kotúčom [4]. Drážkovanie taktiež zlepšuje zábeh nových brzdnych segmentov, čiastočne zlepšuje chladenie a indikuje opotrebenie kotúča. Zvýšené chladenie kotúča sa zabezpečuje vonkajšími alebo vnútornými chladiacimi otvormi (dutý kotúč). Pri vhodnom usporiadaní vnútorných chladiacich otvorov vzniká takzvaný ventilačný efekt [15].



Obr. 4.10 Brzdové kotúče StopTech [2]

BRZDNÉ SEGMENTY

Na brzdne segmenty sú kladené podobné požiadavky ako, na brzdový kotúč, a to hlavne mechanická pevnosť, vhodný súčiniteľ trenia, vysoká odolnosť voči opotrebovaniu a zadieraniu. Medzi ďalšie požadované vlastnosti patrí odolnosť voči vplyvom okolitého prostredia, odolnosť voči vysokým teplotám, ekologická nezávadnosť, dobrá tepelná vodivosť a vysoká hodnota tepanej kapacity [23]. Čím vyššia hodnota súčiniteľa trenia, tým väčšie je opotrebenie brzdneho segmentu. Požadovaná je nízka citlivosť zmeny súčiniteľa trenia v závislosti na teplote a nečistotách. Medzi nežiaduce vlastnosti patrí napríklad pískanie a vŕzganie [31].

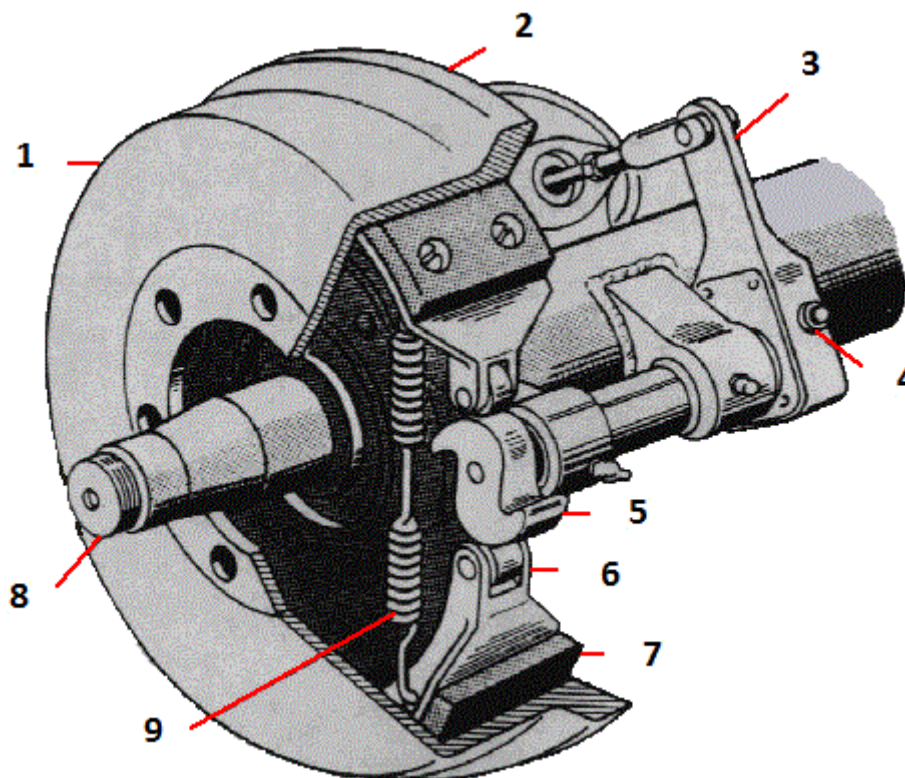
Pískanie vzniká pri brzdní v nízkych rýchlostiach a malých prítlačných silách. Pri malých prítlačných silách sa brzdny segment a kotúč dostávajú do kontaktu iba v určitých bodoch, pružná deformácia trecích materiálov spolu s čiastočným kontaktom vytvárajú nestabilný systém ktorý má tendenciu dostať sa do vibrácií. Pokiaľ dosiahnu vibrácie frekvenciu, ktorá je rezonančnou frekvenciou niektorého prítomného komponentu prejavuje sa tento jav ako pískanie. Odstránenie pískania je možné zmenou rezonančných frekvencií jednotlivých komponentov. Výrobca automobilov Škoda používa brzdové platničky s nalepenou protivibračnou fóliou na vonkajšej strane kovovej plochy platničky. Na trhu sa taktiež objavujú rôzne pasty, ktoré sa nanášajú priamo na platničky [31].

Ako materiály trecích segmentov sa v minulosti hojne využívali kompozity živice a azbestu. Prach vzniknutý pri takomto brzdení je karcinogénny a veľmi nebezpečný pre ľudský organizmus, a preto sa od tohto materiálu upustilo [31]. V dnešnej dobe sa používajú organické materiály, pri obzvlášť vysokom zaťažení sa používajú spekané kovové prášky. Pri anorganických sa ako ostrivo používajú vlákňité alebo práškové trecie materiály: minerálne, keramické alebo kovové. Ako spojivo sa používa syntetická živica alebo kaučuk. Brzdové obloženie má súčiniteľ trenia viac ako 0,4 a je odolný asi do teploty 800 °C [15].



4.2 BUBNOVÉ BRZDY

Bubnové brzdy patria do skupiny radiálnych trecích bŕzd s vnútornými čeľustami. Brzdný účinok vzniká na základe šmykového trenia, ktoré je medzi vnútornou valcovou plochou bubna, ktorý sa otáča spolu s kolesom a brzdovými čeľustami, ktoré sú uložené na štíte brzdy. Štít brzdy je následne pevne uložený na náprave vozidla. Na ťažších vozidlách sa používa hlavne pneumacko-mechanické ovládanie vid' obr. 4.11, pri ľahších vozidlách hlavne hydraulické alebo mechanické (parkovacia brzda ľahkých automobilov). Tento typ bŕzd sa využíva hlavne na zadných nápravách vozidiel nižšej triedy alebo na ťažších úžitkových vozidlách.



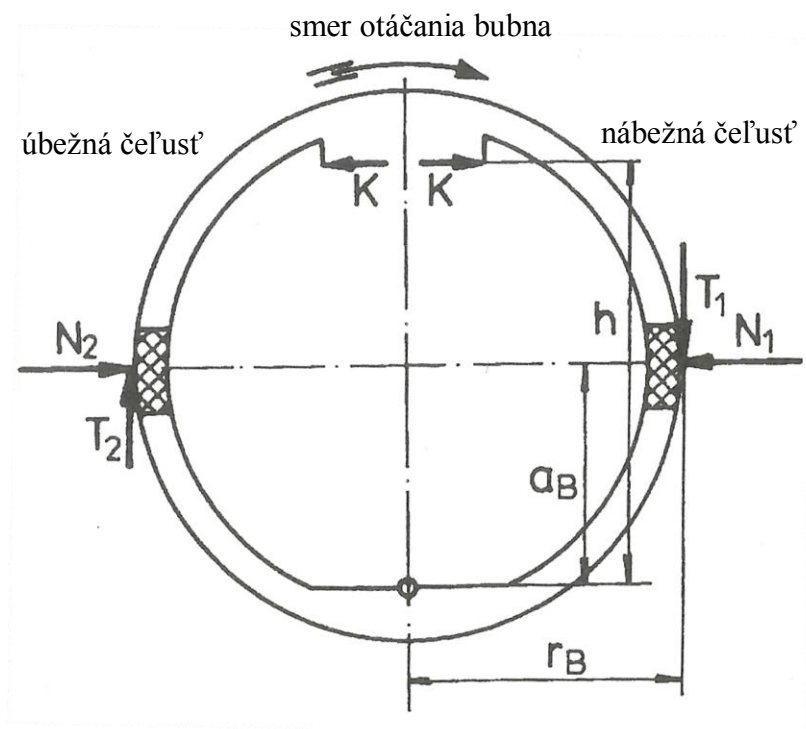
Obr. 4.11 Pneumaticko-mechanická bubnová brzda [1]

Na obr. 4.11 sú viditeľné: 1 - brzdový bubon, 2 - pneumacký brzdový valec, 3 - nastaviteľné rameno, 4 - nastavovacia matica, skrutka 5 - brzdový kľúč (vačka), 6 - otočný valček, 7 - brzdová čeľusť, 8 - os, 9 - vratná pružina.

Podľa smeru momentu obvodovej trecej sily vzhľadom k uloženiu brzdnej čeľuste rozlišujeme nasledujúce typy čeľustí vid' obr. 4.12:

- Nábežná čeľusť - moment trecej sily $T_2 \cdot r_B$ zväčšuje prítlak čeľuste na bubon
- Úbežná čeľusť - moment trecej sily $T_1 \cdot r_B$ znižuje prítlak čeľuste na bubon [31]

Spätný pohyb čeľuste do základnej polohy v odbrzdenom stave zabezpečuje vratná pružina [17].



Obr. 4.12 Schéma pre výpočet bubnovej brzdy [31]

Z obr. 4.12 plynie momentová rovnováha [31]:

$$K \cdot h + T_1 \cdot r_B - N_1 \cdot a_B = 0 \quad (7)$$

$$K \cdot h - T_2 \cdot r_B - N_2 \cdot a_B = 0 \quad (8)$$

kde: h - je kolmá vzdialenosť medzi pôsobiskom sily K_i a osou otáčania čelúste [m]

a_B - je kolmá vzdialenosť medzi pôsobiskom sily N_i a osou otáčania čelúste [m]

r_B - je kolmá vzdialenosť medzi pôsobiskom sily T_i a osou otáčania čelúste [m]

Pre obvodové trecie sily T_1 a T_2 [N] platí [31]:

$$T_1 = N_1 \cdot \mu \quad (9)$$

$$T_2 = N_2 \cdot \mu \quad (10)$$

Po dosadení N_1 do rovnice (7) a N_2 do rovnice (8) vyjadríme trecie sily [31]:

$$T_1 = \frac{\mu \cdot h \cdot K}{a_B - \mu \cdot r_B} \quad (11)$$

$$T_2 = \frac{\mu \cdot h \cdot K}{a_B + \mu \cdot r_B} \quad (12)$$

Brzdňý moment M_B [N·m] [31]:

$$M_B = (T_1 + T_2) \cdot r_B = \mu \cdot h \cdot K \left(\frac{1}{\frac{a}{r_B} - \mu} + \frac{1}{\frac{a}{r_B} + \mu} \right) = c^* \cdot r_B \cdot K \quad (13)$$

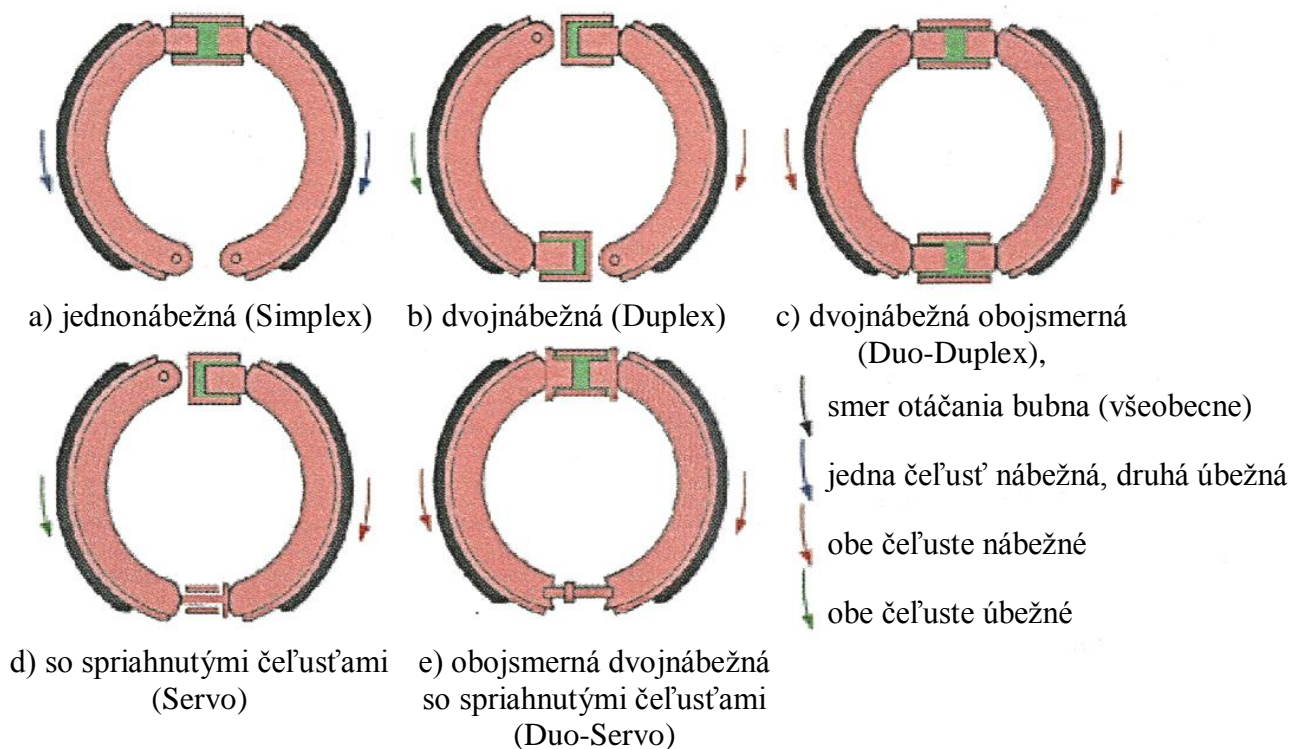
Ak $a/r_B = \mu$, potom $c^* \rightarrow \infty$ brzda je samosvorná [31].

$$c^* = \frac{\sum T_i}{K} = \frac{\mu \cdot h}{r_B} = \frac{\frac{2 \cdot a \cdot h \cdot \mu}{r_B^2}}{\left(\frac{a}{r_B}\right)^2 - \mu^2} \quad (14)$$

Závislosť vnútorného prevodu brzdy na súčiniteli trenia sa nazýva charakteristika brzdy. Na obr. 4.3 sú brzdové charakteristiky troch základných typov bubnových bŕzd. Brzda simplex má najmenší vnútorný prevod a je najmenej závislý na zmene súčiniteľa trenia. Brzda servo má najväčší vnútorný prevod a najväčšiu závislosť na zmene súčiniteľa trenia [31].

4.2.1 DRUHY BUBNOVÝCH BŔZD

Rozdelenie bubnových bŕzd podľa ovládania a uloženia brzdových čeľustí vid' obr. 4.13 : brzdy jednonábežné (Simplex), dvojnábežné (Duplex), dvojnábežné obojsmerné (Duo-Duplex), brzdy so spriahnutými čeľust'ami (Servo) a dvojnábežné obojsmerné so spriahnutými čeľust'ami (Duo-Servo) [15].



Obr. 4.13 Druhy bubnových bŕzd [15]



BRZDA JEDNONÁBEŽNÁ - SIMPLEX

Vid' obr. 4.13a. Ide o najjednoduchší typ bubnovej brzdy, brzda je tvorená nábežnou a úbežnou brzdovou čeľusťou. Prítlačná sila je tvorená spoločným rozperným mechanizmom, ktorý pôsobí na obe čeľuste. Ako rozperný mechanizmus sa používa napr. dvojpiestikový brzdový valec, brzdová vačka, rozoprený klin alebo páka (kľúč). Každá čeľusť ma svoje uloženie v podobe čapu (ponecháva 1° voľnosti) alebo pomocou opornej plochy (ponecháva 2° voľnosti). Brzda ma rovnomerný a malý posilňovací účinok. Opotrebenie brzdového obloženia je nerovnomerné. Brzdny účinok je pri jazde vpred aj vzad rovnaký. Konštrukčné prevedenie na použitie parkovacej brzdy je pomerne jednoduché [15].

BRZDA DVOJNÁBEŽNÁ - DUPLEX

Vid' obr. 4.13b. Pre zaistenie nábežného fungovania oboch čeľustí pri jazde vpred je potrebné pre každú čeľusť použiť samostatný rozoprený mechanizmus. Brzdny účinok je pri jazde vpred väčší ako pri jazde vzad, vtedy obe čeľuste fungujú ako úbežné. Opotrebenie čeľustí je rovnomerné. Najčastejšie sa využívajú dva jedno piestové valce, pričom koniec valca slúži ako oporná plocha pre druhú čeľusť [15].

BRZDA DVOJNÁBEŽNÁ OBOJSMERNÁ - DUO-DUPLEX

Vid' obr. 4.13c. Brzda využíva dva dvoj piestové brzdové valčeky z tohto dôvodu sú obe brzdové čeľuste nábežne pri jazde vpred aj vzad. Brzdny účinok je v oboch smeroch jazdy rovnaký a opotrebenie brzdových čeľustí taktiež [15].

BRZDA SO SPRIAHNUTÝMI ČEĽUSŤAMI - SERVO

Vid' obr. 4.13d. Čeľuste sú priamo alebo nepriamo v kontakte tak, že na seba pôsobia. Pri jazde vpred pôsobia obe čeľuste ako nábežné pri jazde vzad ako úbežné (pri niektorých spôsoboch uloženia čeľustí je pri jazde vzad jedna čeľusť úbežná, jedna nábežná). Opotrebenie čeľustí je rovnomerné [15].

BRZDA OBOJSMERNÁ DVOJNÁBEŽNÁ SO SPRIAHNUTÝMI ČEĽUSŤAMI - DUO-SERVO

Vid' obr. 4.13e. Čeľuste pri jazde vpred aj vzad pracujú nábežne, čeľuste sú prepojené pohyblivou opierkou. V oboch smeroch jazdy brzda zabezpečuje rovnaký brzdny účinok a vyžaduje malú ovládaciu brzdnu silu, tým pádom brzdny účinok je značne citlivý na zmenu koeficientu trenia spôsobený napríklad znečistením trecích plôch, zvýšením teploty atď. [15].

4.2.2 KONŠTRUKCIA BUBNOVÝCH BRZD

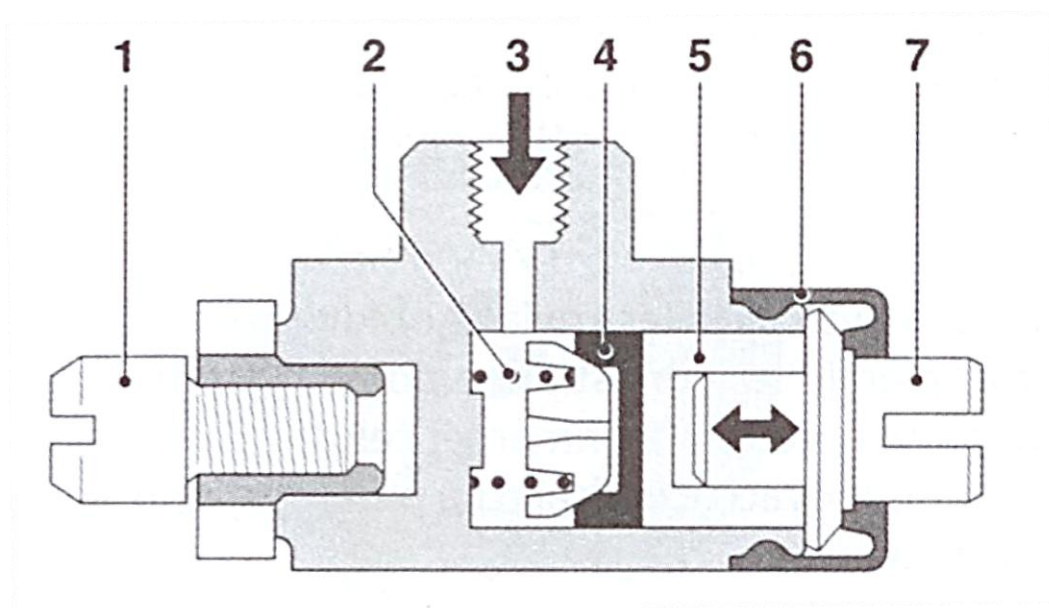
Konštrukcia bubnových brzd podlieha rovnakým pravidlám ako konštrukcia brzd kotúčových. Dôraz je kladený v prvom rade na bezpečnosť a spoľahlivosť. Medzi hlavné výhody kotúčovej brzdy patrí jednoduché dávkovanie brzdného účinku, dlhá životnosť, odolnosť proti vnikaniu vody a nečistôt. Nevýhody sú ťažšia detekcia opotrebeného brzdového obloženia a následná výmena, preto sa v dnešnej dobe na modeloch vyššej triedy objavuje elektronická detekcia opotrebenia brzdného obloženia. Ďalšou nevýhodou je znečistenie vnútra bubna tým aj trecích plôch prachom a nečistotami vzniknutými pri brzdení. Zlý odvod tepla a s tým súvisiace zníženie brzdného účinku tzv. „slabnutie“ brzd (angl. fading). Pri silnom prehriati bubna môže dôjsť až k jeho plastickej (trvalej) deformácii [15].



ROZDELENIE OVLÁDACÍCH ZARIADENÍ BUBNOVÝCH BRZD

Ovládanie bubnových brzd môže byť napr. hydraulické, pneumatické, mechanické, elektromagnetické atď. V praxi sa najčastejšie využíva hydraulické a pneumaticko-mechanické.

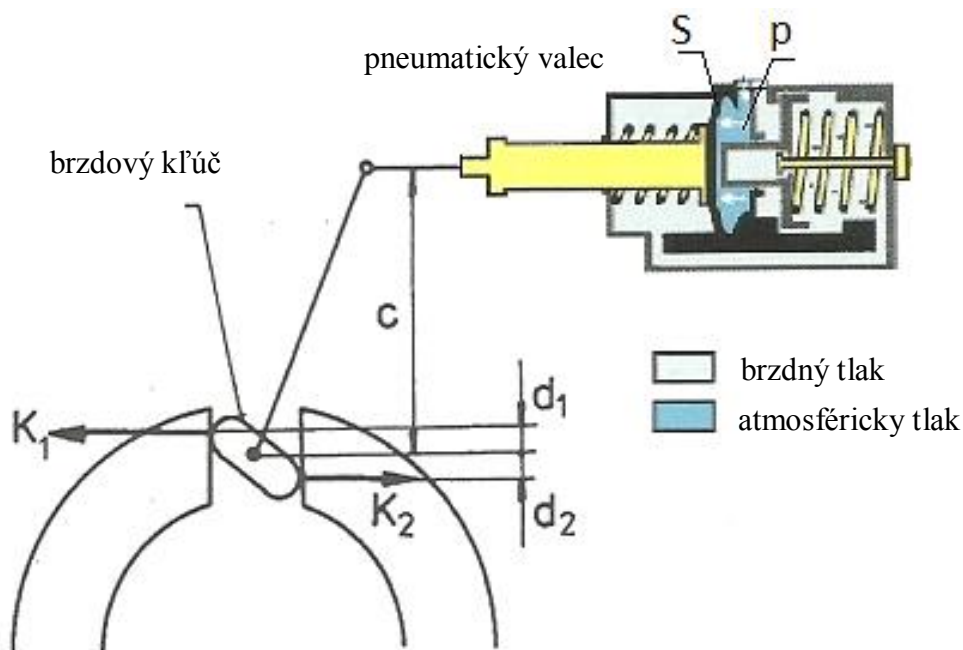
Hydraulické ovládanie brzd - Pri hydraulických brzdových sústavách sa používa ako rozoprený mechanizmus najčastejšie brzdový valček kolesa. Princíp funkcie spočíva vo využití Pascalovho zákona. Brzdová kvapalina je privádzaná pod tlakom do brzdového valčeka kolesa, kde pôsobí na plochu brzdového piestu, čím vzniká ovládacia sila. Používajú sa 1 - činné vid' obr. 4.14, 2 - činné a valčeky so zabudovaným regulátorom brzdneho tlaku (patent Bosch/Bendix) [11].



Obr. 4.14 Brzdový valček kolesa (1-činný) [11]

Na obr. 4.14 sú vidieť nasledujúce časti: 1 - pevný prítlačný čap (s nastavovacím ústrojenstvom), 2 - prítlačná pružina, 3 - prípojka od hlavného brzdového valca, 4 - manžeta, 5 - piest, 6 - gumová manžeta, 7 - pohyblivý prítlačný čap.

Pneumaticko-mechanické ovládanie brzd - Ťažšie vozidla sú najčastejšie vybavené pneumatickou brzdovou sústavou. Z dôvodu veľkosti ovládacích síl a zachovania pomerne malého priemeru brzdových valcov je potrebný mechanický prevod najčastejšie v podobe brzdového kľúča a princípu páky. Menej sa používa klin, ktorý je vtlačaný medzi brzdové čeľuste. Natočenie kľúča je vyvolané momentom $S \cdot c \cdot p$, ktorý je v rovnováhe s momentom silovej dvojice $K_1 \cdot d_1 + K_2 \cdot d_2$ vid' obr. 4.15. Boky brzdového kľúča majú tvar evolventy. Tento tvar spôsobuje zachovanie konštantnej vzdialenosti d_1 a d_2 pri natočení brzdového kľúča, čo zaručuje stály mechanický prevod páky [31].



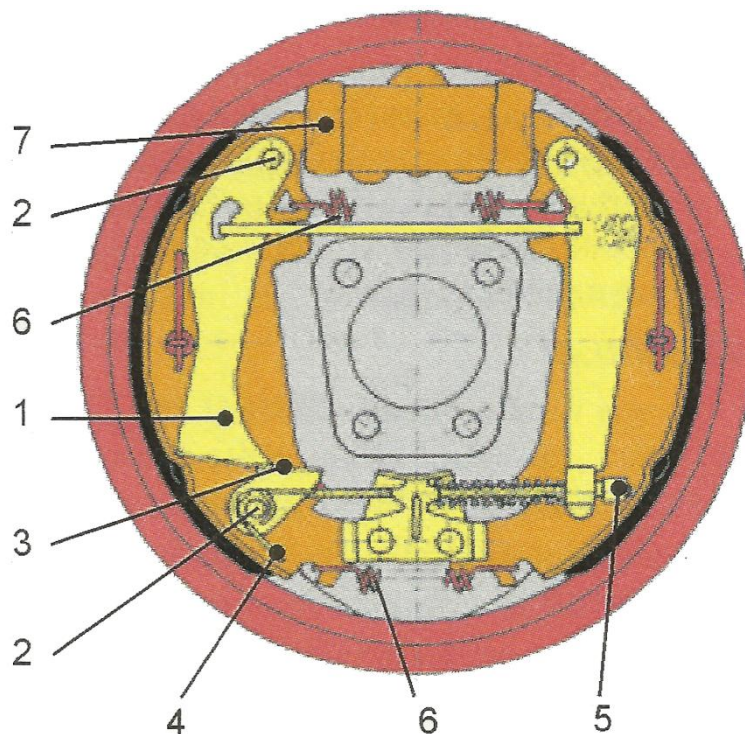
Obr. 4.15 Pneumatické ovládanie čelustí brzdovým kľúčom [31, 15]

SAMOČINNÉ VYMEDZENIE VÔLE BUBNOVÝCH BRZD

Podobne ako pri kotúčových brzdách, tak aj pri brzdách bubnových je potrebné vymedziť tu správnu vôľu medzi bubnom a brzdovými obložením. Opotrebením brzdového obloženia a bubnu sa táto vôľa zväčšuje, dôsledkom je zväčšujúci sa voľný chod brzdového pedálu. Pri predĺžení chodu brzdového pedálu sa zbytočne predlžuje brzdná dráha, v extrémnych prípadoch sa môže úplne stratiť brzdny účinok. Práve z tohto dôvodu je potrebné vôľu ručne alebo automaticky nastavovať [15].

Druhy nastavovania:

- **Ručné nastavovanie** - Pri nastavovaní vôle hydraulických bubnových brzd sa obvykle používa čap s excentricky uloženým výstredníkom, ktorý je umiestnený na štíte brzdy. Pootočením vonkajšieho šesťhranu dôjde k prisunutiu brzdovej čeluste ku valcovej stene bubnu. Pri pneumaticko-mechanických brzdách možno nastaviť správnu vôľu napr. pomocou nastaviteľného ramena. Pootočením kľuky voči brzdovému kľúču sa nastavuje pomocou nastavovacej matice alebo skrutky vid' obr. 4.11. Pri mechanicky ovládaných brzdách sa nastavuje vôľa zväčša pomocou skrátenia brzdového prvku (lanka, tiahla) prostredníctvom skrutky a matice [15].
- **Automatické nastavenie** - Používa sa niekoľko druhov, hlavnou nevýhodou týchto systémov je zadieranie mechanizmu uloženého v tele brzdy kvôli nečistotám vzniknutým pri kontakte trecích plôch. Na obr. 4.16 je bubnová brzda zo Škody Favorit. Pri brzdení najprv dochádza k vymedzeniu vôle medzi koncom rozpernej páky 1 a ozubeným segmentom 3, do ktorého páka zapadá. Pri ďalšom pohybe čelusti v dôsledku opotrebovania trecích plôch dochádza po vyčerpaní tejto vôle k prestaveniu rozpernej páky voči ozubenému segmentu a nastaveniu pôvodnej vôle [15].

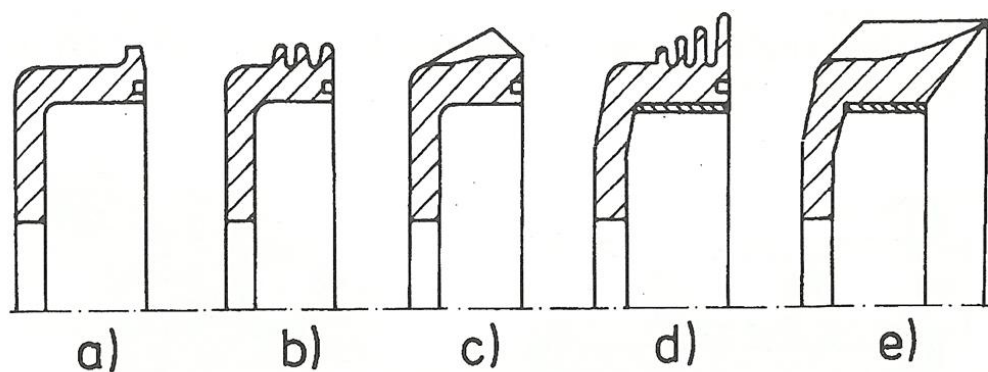


Obr. 4.16 Samočinné nastavenie vôle bubnovej brzdy [15]

Na obr. 4.16 sú viditeľné: 1 - rozperná páka, 2 - čap, 3 - ozubený segment, 4 - pružina, 5 - ovládanie parkovacej brzdy, 6 - vratná pružina, 7 - brzdový valček kola

BRZDOVÉ BUBNY

Medzi základné požiadavky patrí vysoká odolnosť voči oteru, dobrá tepelná vodivosť, mechanická tuhosť a pevnosť aj za zvýšenej teploty. Brzdové bubny sa vyrábajú zo šedej alebo temperovanej liatiny, oceleliatiny alebo zliatiny ľahkých kovov. Trecie plochy sú brúsené alebo jemne sústružené, bubon nesmie radiálne, ani axiálne hádzať a nesmie vibrovať [15]. Rebrá zväčšujú plochu bubna tým zlepšujú chladenie bubna. Pričné alebo šikmé rebro zvyšujú jeho obvodovú tuhosť a zvyšujú ventilačný účinok. Na obr. 4.17 je niekoľko príkladov prevedenia brzdového bubna, často sa využívajú aj dvojmateriálové bubny (viď obr. 4.17 d, e), ktoré znižujú hmotnosť bubna a zlepšujú jeho tepelnú odolnosť [31].



Obr. 4.17 Príklady prevedenia brzdových bubnov [31]



Na obr. 4.17 sú jednotlivé typy bubnov: a) bubon s jedným obvodovým rebrom, b) bubon s viacerými obvodovými rebrami, c) bubon s priečnymi rebrami, d) dvojmateriálový bubon s obvodovými rebrami, e) dvojmateriálový bubon s priečnymi rebrami [31].

BRZDOVÉ ČELUSTE

Brzdové čeluste majú často priečny prierez profilu T z dôvodu zvýšenia tuhosti čeluste v ohybe. Materiál používaný na čeluste býva väčšinou zváraný oceľový plech, odliatok z ľahkých zliatin, liatin prípadne oceľoliatin. [31] Čeluste sú najčastejšie na jednom konci otočne uložené na čape, alebo sa opierajú o opierku, pri tomto úložní je opotrebenie brzdového obloženia rovnomernejšie. Na druhom konci je ploška, kde pôsobí ovládacia sila. Trecie obloženie je prinitované alebo prilepené na brzdovej čelusti [15]. Na trecie materiály používané pri bubnových brzdách sú kladené podobné požiadavky ako pri brzdách kotúčových.

4.3 OVLÁDANIE TRECÍCH BRZD

Rozdelenie brzdových sústav podľa ovládania [31]:

- **priamočinná brzdová sústava** - brzdná sila je vytváraná silou vodiča, ďalej je prenášaná hydraulickým alebo mechanickým prevodovým mechanizmom [15, 31]
- **brzdová sústava s posilňovačom** - pri nedostačujúcej sile vodiča môže byť posilnená hydraulickým alebo podtlakovým posilňovačom (externým zdrojom energie), pri poruche posilňovača musí byť brzdová sústava funkčná a pri tom nesmie ovládacia sila na brzdový pedál presiahnuť 800 N [15]
- **nepriamočinná brzdová sústava (strojná brzda)** - brzdny účinok je vyvolaný pôsobením iného zdroja energie (obvykle stlačeným vzduchom alebo brzdovou kvapalinou), ktoré vodič ovláda, brzda je teda ovládaná nepriamo [15]
- **nájazdová brzdová sústava** - energia potrebná pre brzdenie vzniká priblížením ťahaného prívesu k ťažnému vozidlu [31]
- **gravitačná brzdová sústava** - energiu potrebnú pre brzdenie získavame tiažou klesajúcich základných častí prívesu (oje) [31]

Brzdové sústavy je možné rozdeliť aj podľa spôsobu prenosu energie medzi ovládacím prvkom (pedál, ručná brzda) alebo cudzím zdrojom energie (nepriamočinná brzdová sústava) na ovládací prvok brzdového mechanizmu (piest, kľúč, ...) [31].

- **hydraulické sústavy** - používajú samočinné sústavy, sústavy s posilňovačom a pri ťažších vozidlách nepriamočinné brzdové sústavy, ich využitie je široké sú najčastejšie používané najmä pri ľahších vozidlách od malých motocyklov až po stredné nákladné automobily [31]
- **pneumatické sústavy** - použiteľné jedine s externým zdrojom energie, a teda ako strojná brzda, využíva sa iba pri ťažších a väčších vozidlách a to z dôvodu veľkej zastavbovej plochy, ktorú si komponenty pneumatickej sústavy vyžadujú [31]
- **mechanické sústavy** - v použití ako priamočinná, najazdová alebo gravitačná, najčastejšie sa s ňou stretávame v ovládaní parkovacej brzdy [11]
- **elektromagnetické sústavy** - v posledných rokoch sa začínajú používať aj brzdy, ktoré vyvolávajú brzdny účinok za pomoci elektromagnetických síl, a to napríklad



v spolupráci bubnovej brzdy a pákového mechanizmu alebo kotúčovej brzdy a skrutkového mechanizmu [31]

- **kombinované** - (hydraulicky-mechanické, hydraulicky-pneumatické, pneumacko-mechanické, atď.) [31]

4.3.1 HYDRAULICKÉ BRZDOVÉ SÚSTAVY

Hydraulické sústavy používajú ako ovládacie médium brzdovú kvapalinu. Pri spustení ovládacieho prvku (najčastejšie stlačení brzdového pedálu) vodičom dochádza k nárastu tlaku v hydraulickom systéme [31]. Tlak následne pôsobí v prítlačnom prvku samotnej kolesovej brzdy, pôsobenie tlaku na piesty bubnovej alebo kotúčovej brzdy a vyvolá prítlačnú silu [10]. Princíp funkcie spočíva v aplikácii Pascalovho zákona. „Tlak pôsobí v danom mieste kvapaliny všetkými smermi rovnako a nezávisí na sklone plochy tzn., že tlak je skalárna veličina.“ [26] Hydraulické brzdy s posilňovačom pracujú s vysokým tlakom až 12 MPa (tj. 120 bar), krátkodobo až 18 MPa, (tj. 180 bar tento tlak je ekvivalentný tlaku vodne stĺpca vysokého 1834,9 m). Takéto vysoké tlaky sa využívajú za účelom zachovania malých rozmerov jednotlivých častí brzdovej sústavy. Pri minimálnych vôľach dôjde k rýchlemu nárastu tlaku, čo znamená malé technické oneskorenie brzdy [15].

BRZDOVÁ KVAPALINA

Na brzdovú kvapalinu sú kladené prísne požiadavky, keďže pri jej znehodnotení sa stávajú brzdy neúčinné a dochádza k priamemu ohrozeniu života, zdravia a majetku. Množstvo kvapaliny treba pravidelne kontrolovať a dopĺňať. Odporúčaný interval výmeny je jeden až dva roky. Podrobnejšie požiadavky sú stanovené v amerických predpisoch DOT 3, DOT 4, DOT 5 [15].

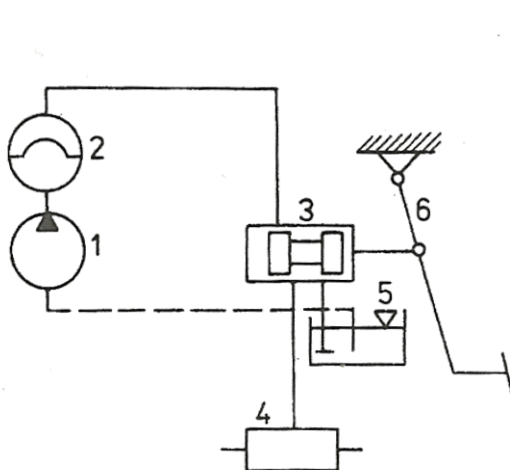
- **vysoký bod varu** - Pri brzdových kvapalinách sa pohybuje od 205 °C do 260°C. Kvapaliny sú často vyrobené na báze alkoholu, najčastejšie je to glykol a glykoléterové zmesi. Kvapaliny sú silne hygroskopické časom dochádza k prenikaniu vody do brzdovej kvapaliny. K prenikaniu dochádza difúziou zo vzdušnej vlhkosti cez brzdové hadice a potrubie alebo cez odvodušňovacie otvory vyrovnávacej nádoby a brzdy. Pohlcovaním vlhkosti sa vlastnosti brzdovej kvapaliny zhoršujú výrazne sa znižuje jej bod varu. Po dvoch rokoch obsahuje približne 3% vody, pri 3,5 % vody sa bod varu zníži na 140 °C až 160°C. Pokiaľ sa teplota zvýši nad bod varu, začnú sa v celom objeme kvapaliny objavovať bublinky, ktoré sú stlačiteľné. Od tohto okamžiku sa stáva brzda neúčinná. Taktiež veľmi dôležitý je nízky bod tuhnutia napr. -60 °C [1, 4].
- **mála objemová stlačiteľnosť** - Stlačiteľnosť musí byť čo najmenšia, vyžaduje sa taktiež malá závislosť zmeny stlačiteľnosti od okolitých vplyvov (vlhkosť, teplota,...) [11].
- **nízka viskozita** - Požaduje sa nízka a konštantná viskozita, najmä pri sústavách s ABS [11].
- **odolnosť voči starnutiu** [15]
- **miesiteľnosť s ostatnými brzdovými kvapalinami** [15]
- **chemicky neutrálna** - Nesmie pôsobiť chemicky na gumené tesnenia, taktiež nesmie spôsobovať koróziu [15].



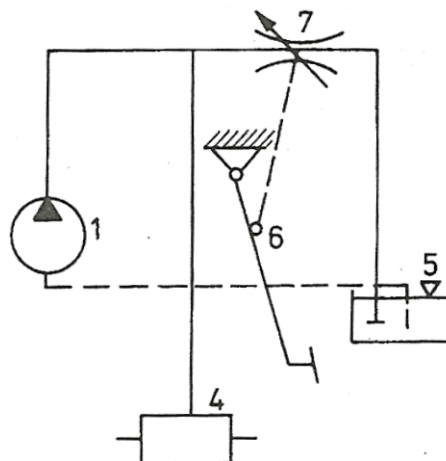
HYDRAULICKÉ STROJNÉ BRZDOVÉ SÚSTAVY

Pri ľahkých nákladných vozidlách sa využíva hydraulická strojná brzdová sústava pri ťažších je to pneumatická strojná brzdová sústava. Sústavu tvorí hydraulická centrála s motoricky poháňaným čerpadlom a s akumulátorom tlaku v kvapaline. Vodič ovládacou silou priamo nevytvára tlak v hydraulickom systéme. Na rozvod brzdovej kvapaliny od zdroja tlaku po samotnú kolesovú brzdu sa využívajú dva typy systémov [31]:

- „closed centre“- Alebo takzvané „statické brzdzenie“ vid' obr. 4.18 je najrozšírenejší typ, riadenie tlaku je zabezpečené paralelne usporiadanými šupátkami ovládanými pedálovým mechanizmom. Brzdný tlak je priamo úmerný sile, ktorou vodič pôsobí na pedál [31].
- „open centre“- Menej využívaný systém, ktorý pracuje na princípe dynamických účinkov prúdiacej kvapaliny. Brzdný tlak je určený ovládaním škrtiaci voľného prietoku kvapaliny. V systéme môže byť jeden škrtiaci člen, vid' obr. 4.19. Prípadne môžu byť dva, kde jeden je meniteľný a druhý pevný, napr. clona. Medzi hlavné nevýhody tohto systému patrí nepretržitý chod čerpadla a nepretržitý tok brzdovej kvapaliny [31].



Obr. 4.18 Sústava „closed centre“ [31]



Obr. 4.19 Sústava „open centre“ s jedným škrtiacim orgánom [31]

Popis platí pre obr. 4.18 a obr. 4.19 : 1 - čerpadlo, 2 - akumulátor, 3 - šupátko, 4 - brzdový valček, 5 - nádržka na kvapalinu, 6 - pedál, 7 - škrtiace ústroje riadené.

4.3.2 PNEUMATICKÉ BRZDOVÉ SÚSTAVY

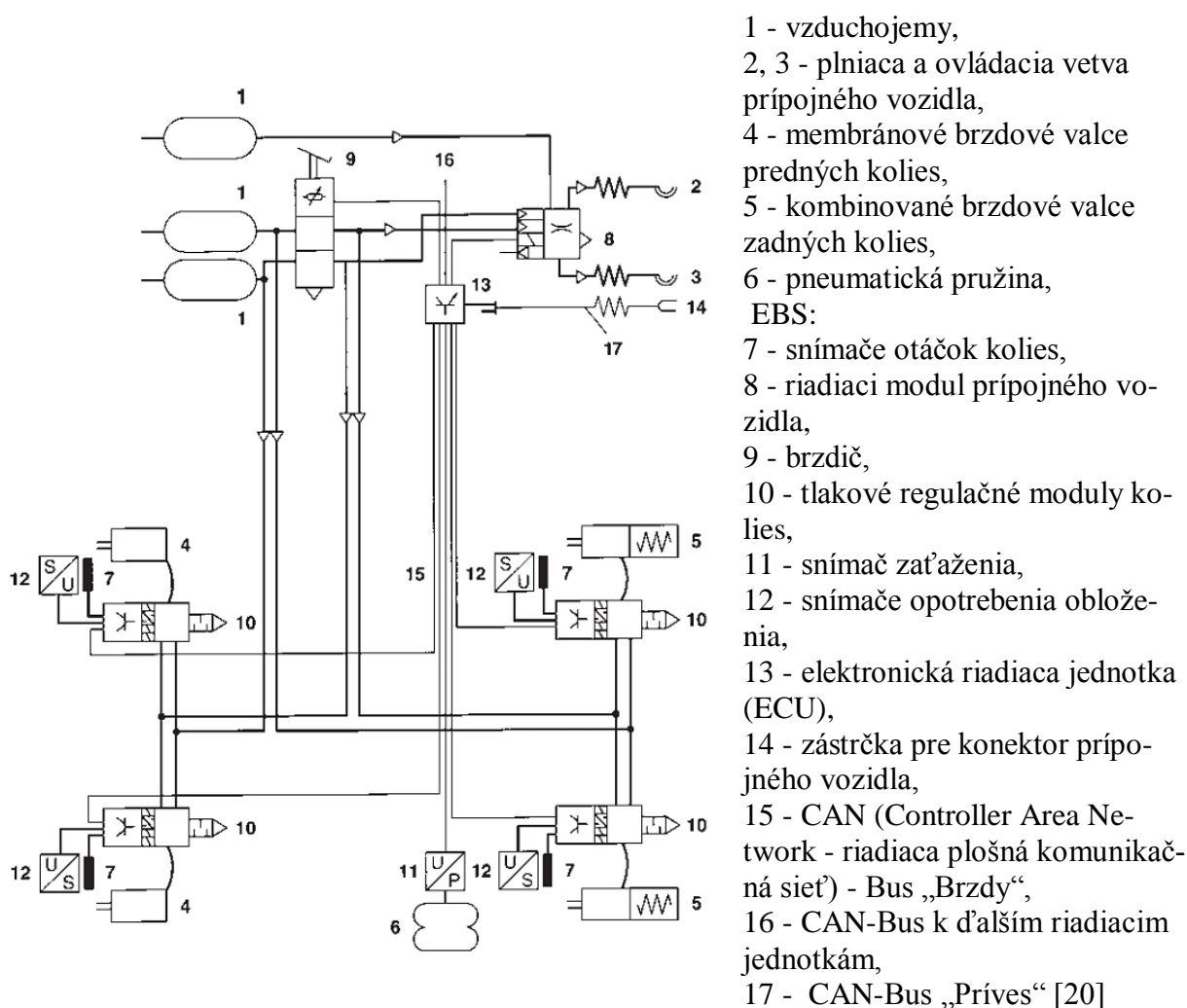
Sústava sa bežne používa pri ťažších vozidlách kategórie N2 (o celkovej hmotnosti od 3,5 t do 12 t) a pri väčšine vozidiel kategórie N3 (o celkovej hmotnosti nad 12 t) [19]. Spodnou hranicou použitia pneumatickej brzdovej sústavy je 7 t až 10 t. Pri ľahších vozidlách sa táto sústava nepoužíva. Pri menovitom tlaku v potrubí zhruba 0,8 MPa (8bar) si vyžadujú prvky pneumatickej sústavy väčšie rozmery. Ide hlavne o brzdové valce a ich mechanické prevody. Z dôvodu väčších rozmerov jednotlivých komponentov nie je možné použitie pneumatickej sústavy na menších vozidlách. Zapojenie brzdovej sústavy z hľadiska druhu nákladných vozidiel môžeme rozdeliť na: samotné vozidlo, ťahač prívesu, ťahač návesu, príves alebo náves [15, 31].



EBS NÁKLADNÉHO VOZIDLA A PRÍPOJNÉHO VOZIDLA

Elektronická brzdová sústava alebo lepšie povedané „elektronicko-vzduchová brzdová sústava“, bola prvýkrát sériovo použitá v roku 1996. V poslednom období sa čoraz častejšie objavuje v moderných jazdných súpravách. Od svojho zavedenia sa v Európe postupne stali štandardným ovládacím brzdovým systémom. Ide o priblíženie k systému brake-by-wire (brzdienie „po drôte“), o ktorom vývojári už dlhšie uvažujú [20].

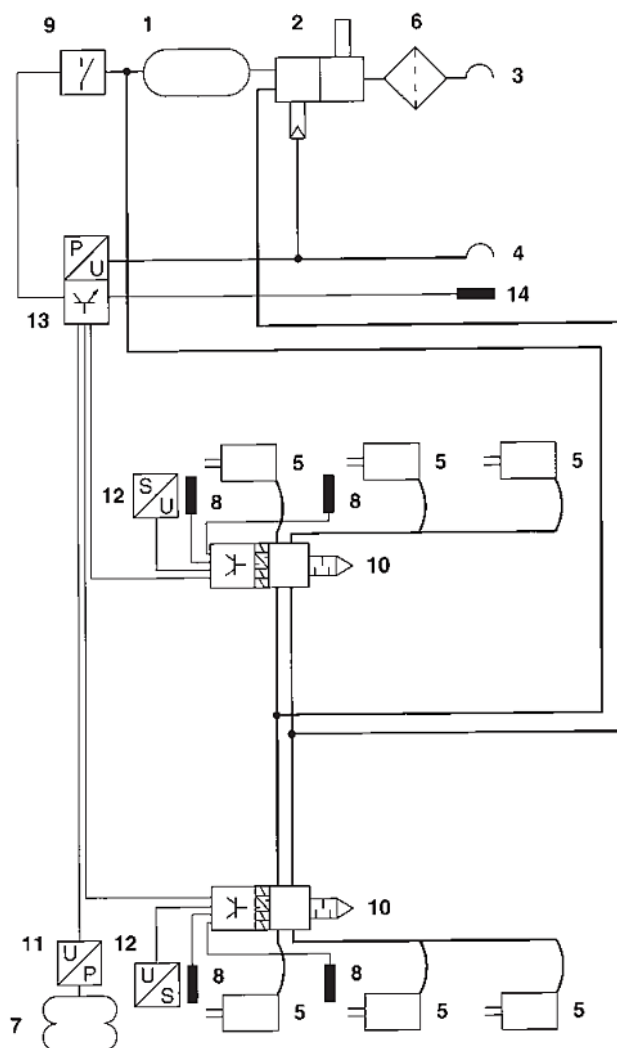
EBS funguje na podobných princípoch ako klasická pneumatická strojná brzdová sústava. Prácu potrebnú na zastavenie vozidla vykonáva stlačený vzduch prostredníctvom mechanizmu kotúčových alebo bubnových brzd. Zásadný rozdiel medzi čisto pneumatickou strojnou brzdovou sústavou a EBS spočíva v náhrade niektorých riadiacich a ovládacích funkcií. Pneumatické ovládanie a regulácia sú nahradzované elektronikou, niektoré vzducho-tlakové vedenia sú nahradené elektrickou kabelážou. Na obr. 4.20 môžete vidieť základné schematické znázornenie EBS pre dvojnápravové ťažné vozidlo. Schéma je bez sústavy zdroja a časti na úpravu stlačeného vzduchu, až po vzduchojemy (vrátane zabezpečenia okruhov), kolesové brzdy a parkovaciu brzdovú sústavu. Na obr. 4.21 je schéma prípojného (vozidla trojnápravového návesu) [20].



Obr. 4.20 Schéma elektronicke riadenej pneumatickej brzdovej sústavy nákladného vozidla [20]

Pneumatická časť elektronickej riadenej sústavy sa skladá z dvoch dvojokruhových ovládacích systémov brzd prednej a zadnej nápravy. Prvý ovládací systém privádza tlakový vzduch v plnom tlaku do vzduchojemov 1 prvého a druhého okruhu k tlakovým regulačným modulom 10 predných a zadných kolies. Moduly regulujú tlak vzduchu na základe elektrického signálu pochádzajúceho z elektronickej riadiacej jednotky 13. Druhý ovládací systém privádza vzduch z redukovaným tlakom z pneumatickej časti brzdiča 9. Jedná sa o záložný okruh tzv. („back up“), ktorý pri poruche elektroniky umožňuje vozidlo brzdiť čisto pneumaticky, regulácia tlaku prebieha len v závislosti od stlačenia brzdového pedála [20].

Elektronická časť obsahuje elektronickú riadiacu jednotku ECU 13. Elektronická riadiaca jednotka spracováva elektrické signály z jednotlivých snímačov, pomocou napäťových signálov riadi ventilové systémy tlakových regulačných systémov jednotlivých kolies 10 a riadiaci modul prípojného vozidla 8. Na elektronickú riadiacu jednotku sú pripojené snímače: snímač dráhy brzdového pedála, ktorý je súčasťou brzdiča 9, snímač otáčok kolies 7 (ako pri ABS), snímače zaťaženia náprav 11 a snímače opotrebenia brzdového obloženia 12, ak sú súčasťou systému [20].



- 1 - vzduchojem
- 2 - rozvádzač prípojného vozidla,
- 3, 4 - plniaca a ovládacia vetva na prípojnom vozidle,
- 5 - membránové brzdové valce,
- 6 - filter,
- 7 - pneumatická pružina,
- EBS:
- 8 - snímače otáčok kolies,
- 9 - tlakový spínač,
- 10 - tlakové regulačné moduly ľavej a pravej skupiny kolies,
- 11 - snímač zaťaženia,
- 12 - snímače opotrebenia obloženia,
- 13 - elektronická riadiaca jednotka (ECU) prípojného vozidla,
- 14 - konektor zbernice CAN Bus „Prives“

Obr. 4.21 Schéma elektronickej riadenej vzduchovej brzdovej sústavy prípojného vozidla (trojnápravového návesu) [20]



Brzdový signál jednotky ECU z ťažného vozidla sa prenáša pomocou zbernice CAN-Bus „Prives“ a konektoru 14 do elektronickej riadiacej jednotky prípojného vozidla 13, ktorá riadi proces brzdenia podobne ako jednotka ECU ťahača, vrátane back up okruhov. V EBS ťahača je integrovaný systém regulácie sily medzi ťažným a prípojným vozidlom. Regulácia tejto sily je zabezpečená ovládaním tlaku vzduchu za brzdovým ventilom 2. Pri poruche dvojhadicového spojenia ťahač-prípojný vozidlo sa automaticky aktivuje samočinné brzdenie prípojného vozidla [20].

Hlavnou úlohou EBS nákladných automobilov je pri stlačení brzdového pedála, aby brzdy reagovali čo najrýchlejšie a s účasťou rovnomerne. Tým dochádza k skráteniu brzdného dráhy, a rovnomernému opotrebeniu brzdových obložení. Elektronické riadenie pneumatickej sústavy redukuje na minimum jej hlavnú nevýhodu, a to je pomerne dlhý čas náběhu a ukončenia brzdného účinku. Následkom je skrátenie brzdného dráhy, lepšie účinky iných systémov napr. ABS, ESP, ASR, ... [20].

5 ODL'AHČOVACIE BRZDY

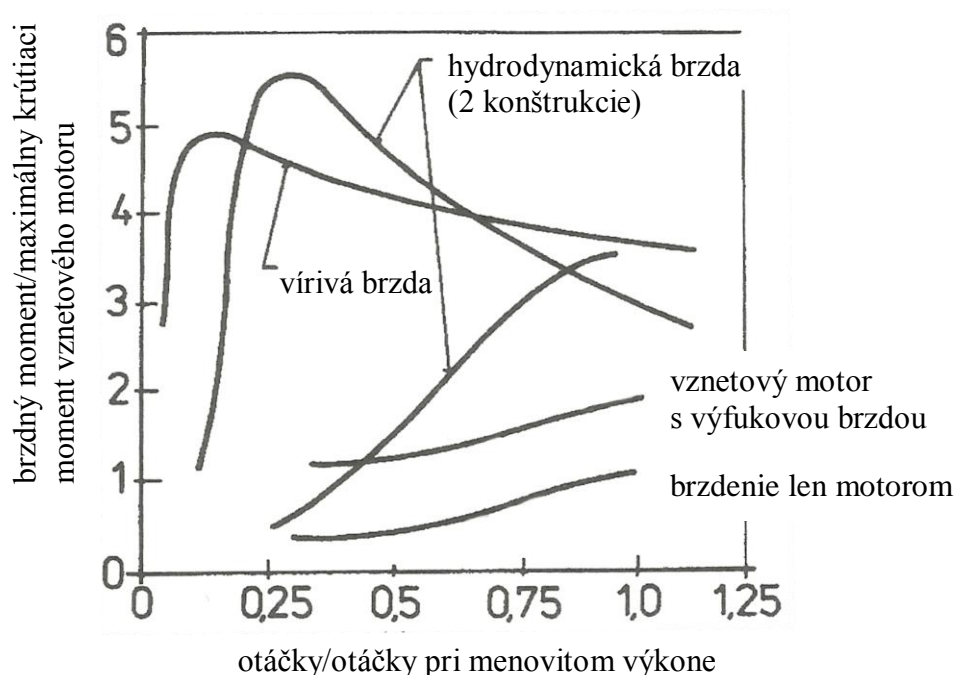
Pri ťažkých nákladných vozidlách, autobusoch a jazdných súpravách sú k znižovaniu alebo udržaniu konštantnej rýchlosti používané doplnkové brzdomé systémy, odl'ahčovacie (spomaľovacie) brzdy. Brzdy sú účinné iba pri nenulovej rýchlosti vozidla a neslúžia na zastavenie vozidla, nemožno ich použiť ako parkovaciu brzdú. Dôvod ich použitia je zvýšenie bezpečnosti, odl'ahčenie prevádzkových bŕzd a to najmä v dlhých klesaniach, kde môže dôjsť k prehriatiu prevádzkových bŕzd, a tým k strate brzdného účinku. Spomaľovacie brzdy neppracujú na princípe trenia pevných materiálov medzi sebou, takže nedochádza k priamemu opotrebeniu bŕzd. Kinetická energia vozidla je premenená najčastejšie na teplo. Spomaľovacie brzdy môžeme rozdeliť na: výfukové brzdy, motorové brzdy, elektromagnetické vírivé brzdy, hydrodynamické brzdy [10]. Na obr. 5.1 môžeme vidieť porovnanie charakteristík jednotlivých typov odl'ahčovacích bŕzd.

VÝHODY SPOMALŔOVACÍCH BŔZD

1. zvýšenie bezpečnosti, zvýšenie pohotovosti trecích bŕzd
2. ekologický a ekonomický spôsob brzdenia (šetrí brzdomé obloženie trecích bŕzd)
3. nízka hmotnosť (výfukové brzdy, motorové brzdy)
4. pri dlhom použití spomaľovacích bŕzd nedochádza k zníženiu brzdného účinku
5. pomerne nízka cena (výfuková brzdá, motorová brzdá)

NEVÝHODY SPOMALŔOVACÍCH BŔZD

1. vysoká cena (elektromagnetická vírivá brzdá, hydrodynamická brzdá)
2. vysoká hmotnosť (elektromagnetická vírivá brzdá, hydrodynamická brzdá)
3. komplikovaná konštrukcia (elektromagnetická vírivá brzdá, hydrodynamická brzdá, motorová brzdá)



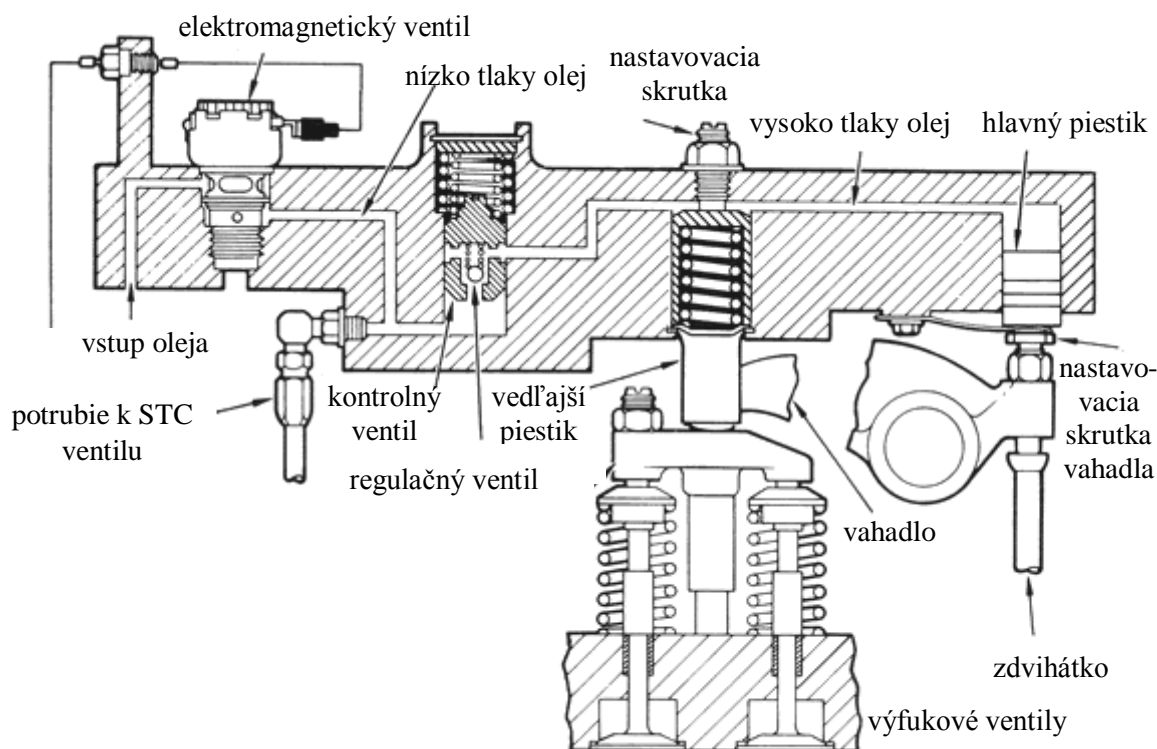
Obr. 5.1 Charakteristiky odl'ahčovacích bŕzd [31]



5.1 MOTOROVÉ BRZDY

Princíp fungovania motorovej brzdy alebo lepšie povedané motorovej dekompresnej brzdy spočíva v odpúšťaní stlačeného vzduchu. Po prerušení dôdavky paliva sa motor poháňaný vozidlom správa ako kompresor. Najmä pri vysokých otáčkach pôsobí ako brzda a vyvoláva brzdný účinok [15]. Pri motoroch vznetrových je potrebné previesť úpravu, ktorá pri aktivácii motorovej brzdy zastaví prívod paliva.

Pri stlačovaní nasávaného vzduchu dochádza k premene kinetickej energie vozidla na vnútornú a potenciálnu energiu stlačeného plynu. Počas brzdenia, keď sa piest spaľovacieho motoru blíži k hornej úvrati systém motorovej brzdy otvorí výfukový ventil. Piest následne vytlačí stlačený plyn a dokončí svoj kompresný zdvih. Pri expanzii stlačeného plynu dochádza v motore ku podtlaku ktorý dodatočne brzdí pohyb piestu smerom dole a tým aj vozidlo. Existuje niekoľko konštrukčných prevedení, v USA sa bežne používajú motorové brzdy (nazývané Jake Brake). Na obr. 5.2 je brzda Jacobs [9].

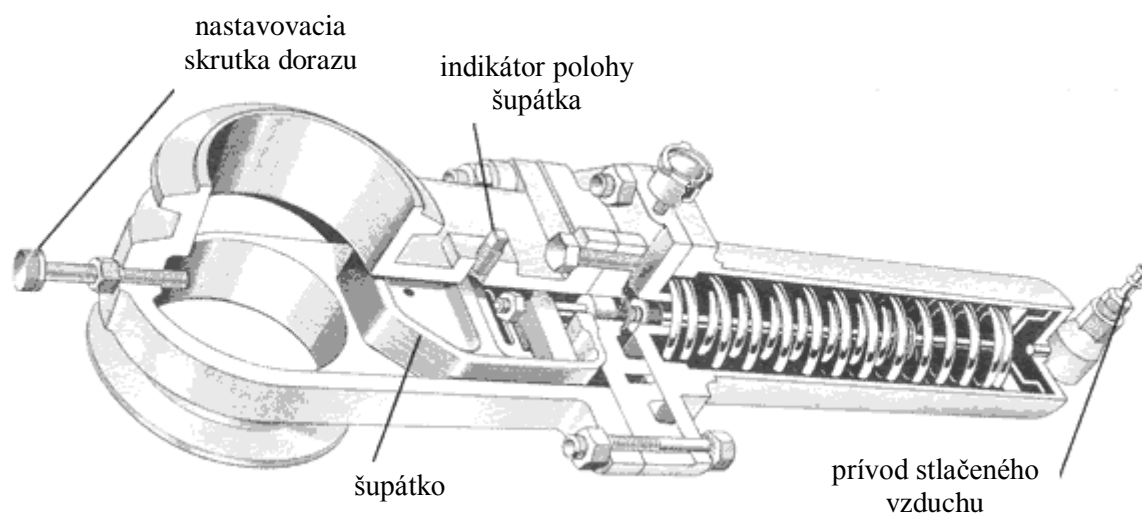


Obr. 5.2 Motorová brzda Jacobs [13]

Pre aktiváciu motorovej brzdy musia byť splnené tieto podmienky. Spínač brzdy musí byť zopnutý, pedál spojky nesmie byť stlačený, pedál akceleračtoru nesmie byť stlačený, spínač progresívneho brzdenia musí byť zapnutý. Po splnení týchto požiadaviek dôjde k otvoreniu elektromagnetického ventilu a zaplneniu systému nízkotlakým olejom. Tento olej vyzdvihne regulačný ventil následne vysunie hlavný piestik až po nastavovaciu skrutku vahadla. Pri posunutí zdvihátko smerom nahor dôjde k pohybu hlavného piestiku, a tým k vyvolaniu zvýšeného tlaku z dôvodu uzavretia kanálu guľčkou regulačného ventilu. Tento tlak vysunie vedľajší piestik ktorý otvorí výfukové ventily v predstihu pred vahadlom. Pri deaktivácii brzdy dôjde k zníženiu tlaku pod regulačným ventilom. Ten sa posunie smerom dolu, tým otvorí vrchný kanál, prostredníctvom ktorého unikne prebytočný olej [30].

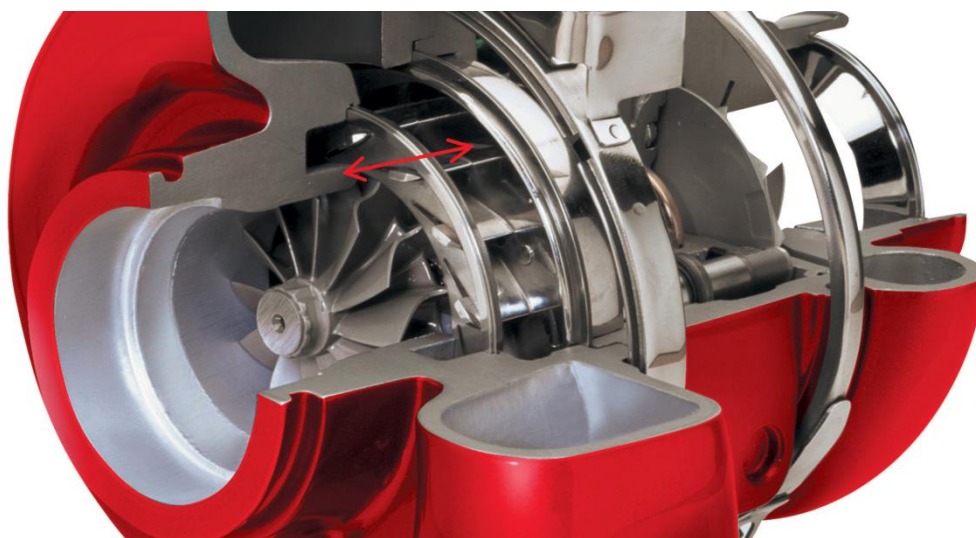
5.2 VÝFUKOVÉ BRZDY

Výfuková brzda funguje na podobnom princípe ako brzda motorová, zásadný rozdiel je v prevedení škrtenia výfukových plynov. Najčastejšie sa k tomu účelu používa klapka, alebo ploché šupátko vid' obr. 5.3. Tieto elementy sú umiestnené vo výfukovom potrubí v blízkosti motoru, pokiaľ je motor vybavený preplňovaním sú umiestnené tesne za turbínovou časťou. Výfukové brzdy sa často využívajú súčasne s motorovou brzdou [15]. Ich úlohou je čiastočne brániť prietoku plynu cez výfukové potrubie. Elementy sú najčastejšie ovládané pneumaticky. Hlavnou nevýhodou klapky oproti plochému šupátku je vyšší odpor kladený plynu v neaktívnom režime, ktorý môže nepriaznivo ovplyvňovať výkon motora.



Obr. 5.3 Výfuková brzda, ploché šupátko [24]

Turbodúchadlo Holset VGT s premenou geometriou turbíny bolo vyvinuté v spolupráci so spoločnosťou IVECO. Ide o prvé turbodúchadlo s možnosťou použitia premennej geometrie ako „výfukovej brzdy“ v spolupráci s motorovou brzdou. Elektronická riadiaca jednotka MS6 ovláda krúžok s rozvádzacími lopatkami turbíny [14].

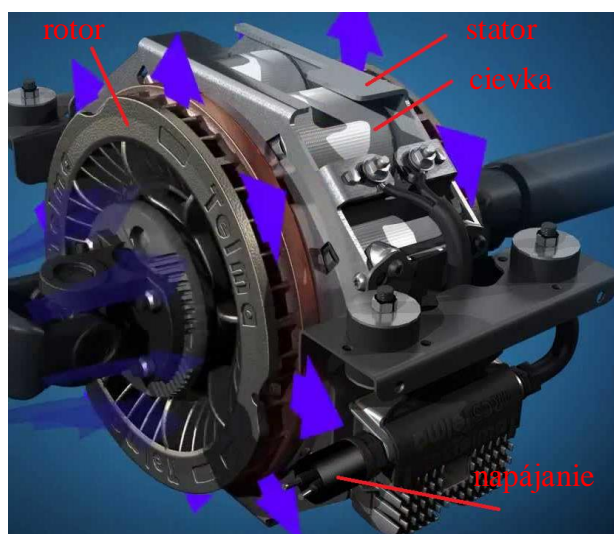


Obr. 5.4 Turbodúchadlo Holset s premenou šírkou statoru turbíny[6]

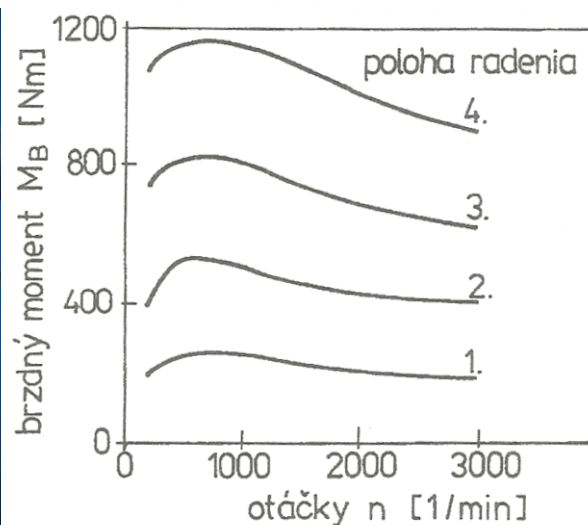
5.3 ELEKTROMAGNETICKÉ VÍRIVÉ BRZDY

Alebo tiež elektromagnetické retardéry. Princíp fungovania elektromagnetickej vírovej brzdy spočíva v aplikovaní fyzikálnych princípov, ktoré objavil francúzsky fyzik J. B. L. Foucault (1819 – 1868). „Pri otáčaní kotúča v stacionárnom magnetickom poli sa indukujú v tomto disku vírivé prúdy, ktorých interakcia s magnetickým poľom pôsobí proti otáčaniu a brzdia ho.“ Tieto prúdy sa tiež nazývajú Foucaultove prúdy a spôsobujú zahrievanie kovového disku. Brzdňý účinok závisí od rôznych faktorov ako napr. otáčok kotúča, intenzity magnetického poľa, atď. [15].

V Európe sú najpoužívanjšie elektromagnetické vírové brzdy francúzskej firmy Telma, na obr. 5.4. je brzda Telma AF5 + iRCS. Rotor brzdy sa skladá z dvoch vzduchom chladených diskov, ktoré sú umiestnené na spojovacom kĺbovom hriadeľi. Disky sú umiestnené z oboch strán statoru. Chladenie prebieha na základe odstredivého ventilačného efektu, kde vzduch je axiálne nasatý do kanálov rotoru a následne radiálne vymrštený. Zlepšenie odvodu tepla do ovzdušia sa zabezpečuje zväčšením kontaktnej plochy vzduch-disk a zrýchleným prúdením vzduchu. Pri zrýchlení prúdenia sa zvyšuje súčiniteľ prestupu tepla a tým aj tepelný tok. Stator obsahuje osem cievok a je uchytený o šasi vozidla. Brzdňý účinok je regulovaný automaticky stlačením brzdového pedálu alebo obsluhou prostredníctvom páčky. Regulovať pomocou páčky možno na štyri úrovne (1.=25% , 2.=50%, 3.=75%, 4.=100%), charakteristika vírovej brzdy viď obr. 5.5. Pri regulácii brzdňého účinku dochádza k zmene veľkosti elektrického prúdu prechádzajúceho elektromagnetmi v statore [27].



Obr. 5.4 Elektromagnetická vírová brzda Telma AF5 + iRCS [27]



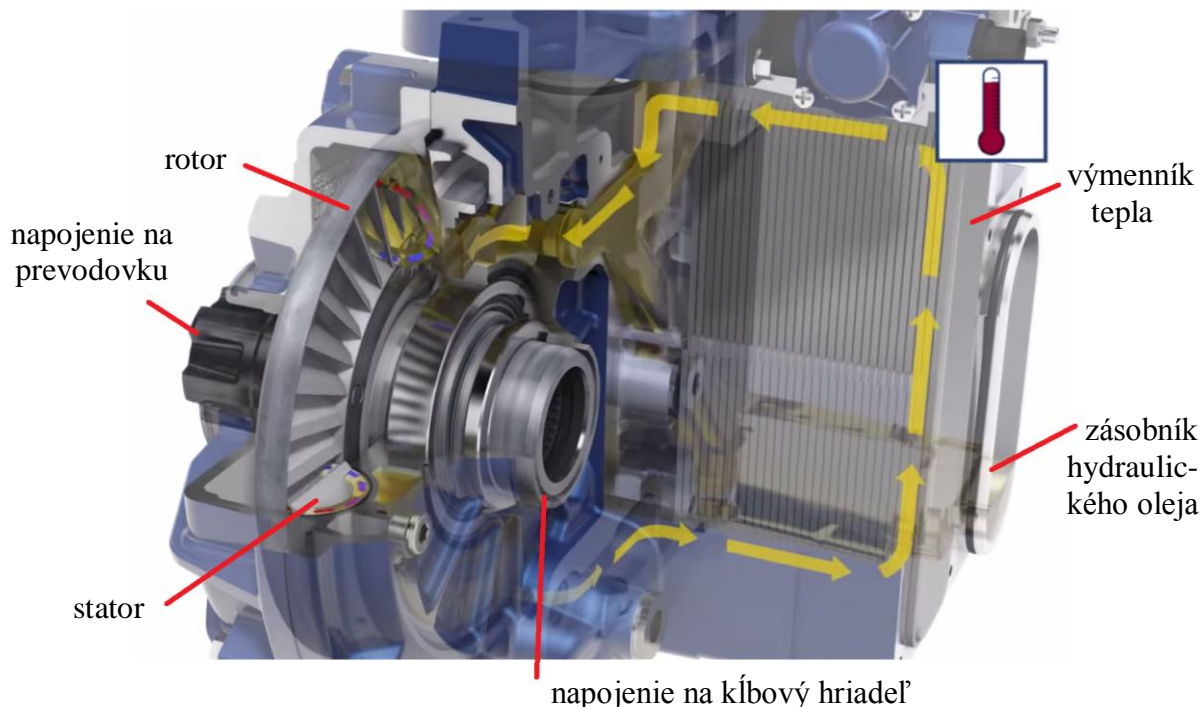
Obr. 5.5 Charakteristika vírovej brzdy [31]

Výhodou týchto brzd je veľký brzdňý účinok, ktorý je pomerne jednoducho regulovateľný. Hlavnou nevýhodou je značné zahrievanie kotúčov pri dlhotrvajúcom brzdení, ktoré môže viesť k zníženiu brzdňého momentu, vysoká hmotnosť až 300 kg, vysoká cena a zvýšený odber energie z batérie vozidla (prípadne generátoru) [31].

5.4 HYDRODYNAMICKÉ BRZDY

Hydrodynamické brzdy alebo tiež hydrodynamické retardéry premieňajú kinetickú energiu vozidla na teplo trením v kvapaline [15]. Princíp činnosti hydrodynamickej brzdy spočíva vo využití odporu, ktorý vzniká vírením kvapaliny (hydraulický olej) v uzavretom priestore medzi statorom a rotorom [10]. Stator je pevne spojený so skriňou brzdy, rotor je spojený hnacím ústrojenstvom s kolesami a otáča sa. Sklon lopatiek statoru a rotoru vzhľadom k rovine kolmej na os hriadeľa je 45° . Retardéry môžu byť na spojovacom hriadeľi vozidla (sekundárne retardéry) alebo priamo v prevodovke (intardéry). Brzdny účinok je plynulý, regulácia brzdneho účinku sa zabezpečuje rôznym stupňom plnenia hydraulickým olejom [15]. Chladenie hydraulického oleja je potrebné zabezpečiť výmenkom tepla (olej - chladiaca kvapalina) [31].

Na obr. 5.6 je hydrodynamicky retardér od firmy Voith. Retardér je umiestnený priamo za prevodovkou. Vodič ovláda intenzitu brzdneho účinku pomocou páčky alebo prostredníctvom brzdového pedála. Po aktivácii brzdy je zo zásobníku pomocou stlačeného vzduchu prečerpávaný určitý objem oleja do pracovnej komory medzi rotorom a statorom. Následne dôjde k automatickému priblíženiu rotoru k statoru. Od tohto okamihu brzda prenáša brzdny moment prostredníctvom kĺbového hriadeľa a vozidlo je spomaľované. Počas brzdovania je teplo odvádzané prostredníctvom výmenníku tepla (olej – chladiaca kvapalina). Toto odpadné teplo je využité na udržanie teploty motora, v ktorom počas brzdovania neprebíha proces spaľovania paliva. Po deaktivácii retardéru je hydraulický olej prečerpávaný späť do zásobníku a rotor je pružinou automaticky odsunutý od statoru. Odsunutie rotoru od statoru zlepšuje ventiláciu a znižuje spotrebu paliva [33].



Obr. 5.6 Hydrodynamická brzda Voith VR123+ [33]



6 VÝVOJOVÉ TRENDY

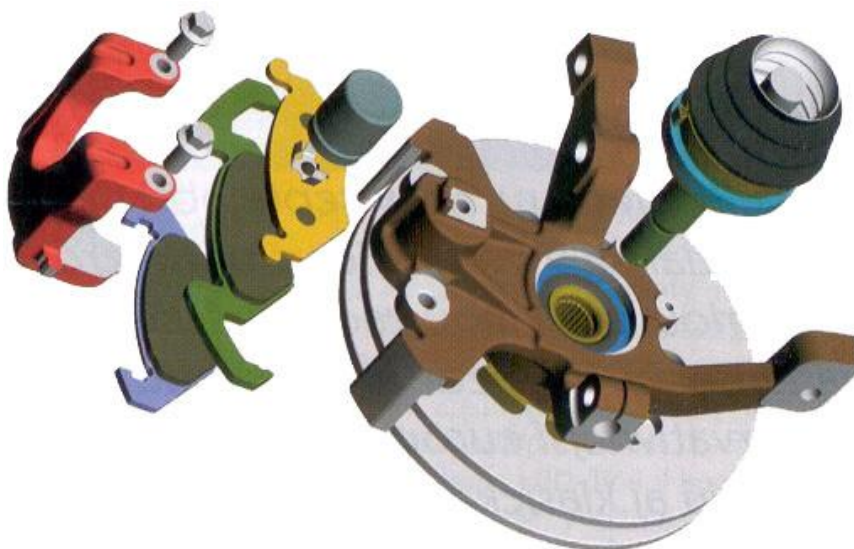
V oblasti brzdenia úžitkových vozidiel dochádza tak ako aj v iných oblastiach k viacerým inováciám a zlepšeniam. Hlavnými úlohami vývoja v tejto oblasti sú zvýšenie bezpečnosti na cestách, zníženie hmotnosti jednotlivých komponentov, zlepšenie ovládateľnosti vozidla, zníženie spotreby, zníženie výrobných nákladov, atď. Zásadný problém v riešení jednotlivých úloh spočíva v previazaní požiadaviek na sebe. Najzásadnejšie je previazanie medzi bezpečnosťou a cenou, kde sa kompromisy robia najťažšie.

6.1 MECHANICKÉ TRECIÉ BRZDY

Vývoj v oblasti mechanických trecích brzd nie je taký výrazný ako v iných oblastiach. Jeden z dôvodov je pomerne dostatočný brzdný výkon klasických trecích brzd. Zásadné zmeny sa odohrávajú najmä v použití modernejších materiálov a čiastočných konštrukčných úprav za účelom zníženia hmotnosti a podobne.

6.1.1 KONŠTRUKCIA

V oblasti konštrukcie vzniklo pár inovatívnych konceptov, ktoré sa však výrazne neujali napr. vid' obr. 6.1 kde možno vidieť dvojkotúčovú brzdú od firmy Delphi ADS. Brzda má 1,7x väčší brzdný moment oproti konvenčnej kotúčovej brzde. Štyri trecie plochy znižujú potrebný ovládací tlak na polovicu. Nevýhodou môže byť zanášanie drážok na hriadeli a následné zadrhávajúce posuvne uložených kotúčov. Ďalšie konštrukčné inovácie sú napr. zamerané na zlepšenie odvodu tepla (kotúče so špeciálnym vnútorným rebrovaním vid' obr. 6.2 sa používajú na pretekárske účely [21]).



Obr. 6.1 Dvojkotúčová brzda [21]



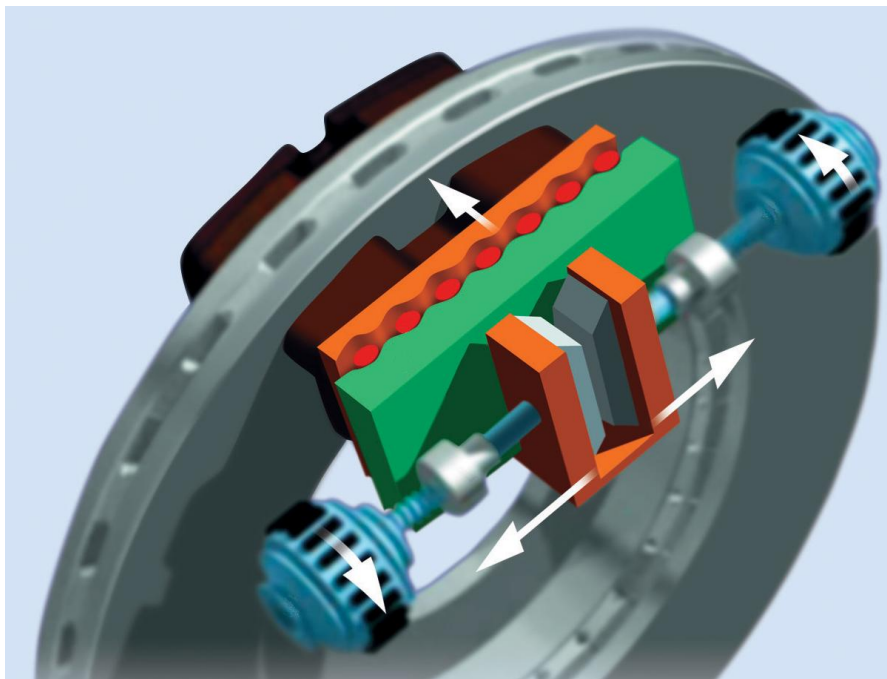
Obr. 6.2 Kotúč DBA 4000 [7]

6.1.2 TRECIE MATERIÁLY

Výrobcovia prechádzajú na materiály trecích plôch, ktoré sú zdravotne nezávadné, predlžujú životnosť jednotlivých trecích komponentov, zlepšujú brzdné vlastnosti atď. Pri výkonnejších brzdách je možnosť použitia rôznych karbón keramických kompozitov. Hlavnou nevýhodou karbónových brzd je teplota, pri ktorej začínajú brzdy účinne pracovať (cca 300°C). Pri bežných podmienkach, napríklad v meste, nedochádza k zahriatiu brzd na požadovanú teplotu, z tohto dôvodu sa momentálne karbónové brzdy využívajú hlavne na pretekárskych vozidlách a v tuningových firmách [21].

6.1.3 OVLÁDANIE TRECÍCH BRZD

V tejto oblasti sa očakávajú najväčšie zmeny a to postupné opustenie klasický hydraulických, pneumatických a mechanických ovládacích princípov brzd, ktoré sa pomerne komplikovane prepájajú s elektronickými systémami (ABS, ESP, ASR, atď.). Brake-by-wire (brzdienie „po drôte“) je technológia, ktorá radikálne mení spôsob ovládania brzd. Už dlhšiu dobu existujú projekty, ktoré ju užívajú. Princíp fungovania spočíva v nahradení konvenčnej sústavy elektronickou. Brzdový pedál je napojený na elektronický snímač, informácia o intenzite a rýchlosti stlačenia je spracovaná riadiacou jednotkou spolu s informáciami z iných snímačov. Ako napr. akcelerometrov, senzoroch otáčania kolies, senzoroch rozloženia hmotnosti na vozidle. Snímačoch tlaku v pneumatikách, natočenia volantu, záznamu z kamier, atď. Riadiaca jednotka následne situáciu vyhodnotí a pošle elektronické signály k jednotlivým, čisto elektronicky riadeným brzdám [18]. Na obr. 6.3 je elektrická klinová brzda (electric wedge brake (EWB)) od firmy Siemens, ktorá je ovládaná napätím 12 V. Klinový mechanizmus pri-tláčajúci platničky k brzdovému kotúču zabezpečuje veľké pritlačné sily pri pomerne malých krútiacich momentoch elektromotorov [28].

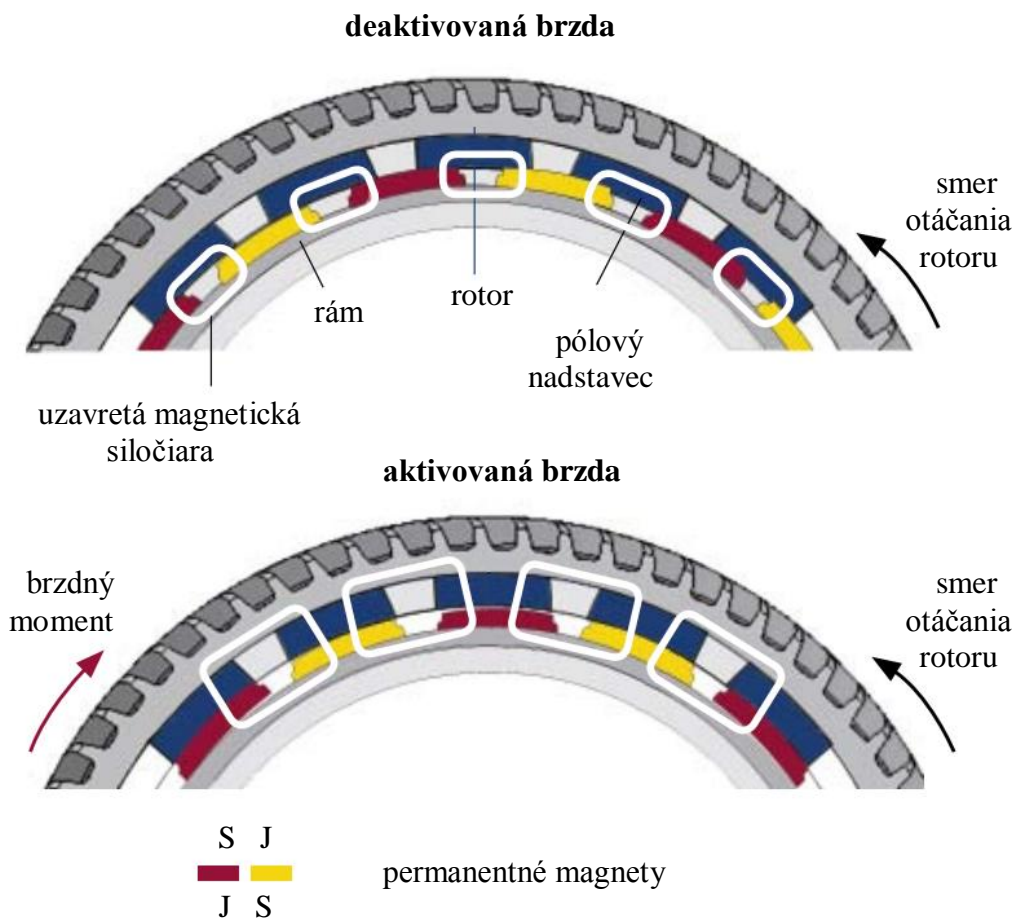


Obr. 6.3 Elektrická klinová brzda EWB [8]

6.2 ODĽAHČOVACIE BRZDY

V súčasnej dobe sa výrobcovia pokúšajú už vyššie spomínané typy odľahčovacích brzd vylepšovať. Vylepšenia sa týkajú konštrukčných úprav za účelom zvýšenia výkonu zníženia hmotnosti, lepšieho chladenia a podobne. Elektronicky riadené odľahčovacie brzdy ktoré v prípade prešmyku kolies automaticky a pohotovo reagujú na situáciu sú v budúcnosti samozrejmosťou.

Mimo uvedených typov odľahčovacích brzd sa začínajú používať na stredne ťažkých vozidlách aj odľahčovacie brzdy s permanentnými magnetmi. Nový Mercedes - Benz Atego používa odľahčovaciu brzdú od firmy Voith, ktorá sa pýši hmotnosťou iba 39 kg. Brzdný moment až 650 N·m zodpovedá brzdnému výkonu 160 kW (pri rýchlosti 80 km/h) podľa typu vozidla. Na obr. 6.4 je zapnutá a vypnutá odľahčovacia brzda. Brzdú možno aktivovať automaticky po stlačení brzdového pedálu, alebo manuálne páčkou pod volantom [3]. Prostredníctvom pneumatického valca dôjde k natočeniu rámu osadeného extrémne silnými permanentnými magnetmi, po potočení rámu sa nad každým permanentným magnetom nachádza pólový nadstavce. Od tohto okamihu brzda vytvára brzdný moment proti otáčajúcemu sa rotoru, ktorý je napojený buď to priamo na prevodovku alebo na kĺbový hriadeľ [32].



Obr. 6.4 Odľahčovacia brzda s permanentnými magnetmi[32]

6.3 REKUPERAČNÉ BRZDY

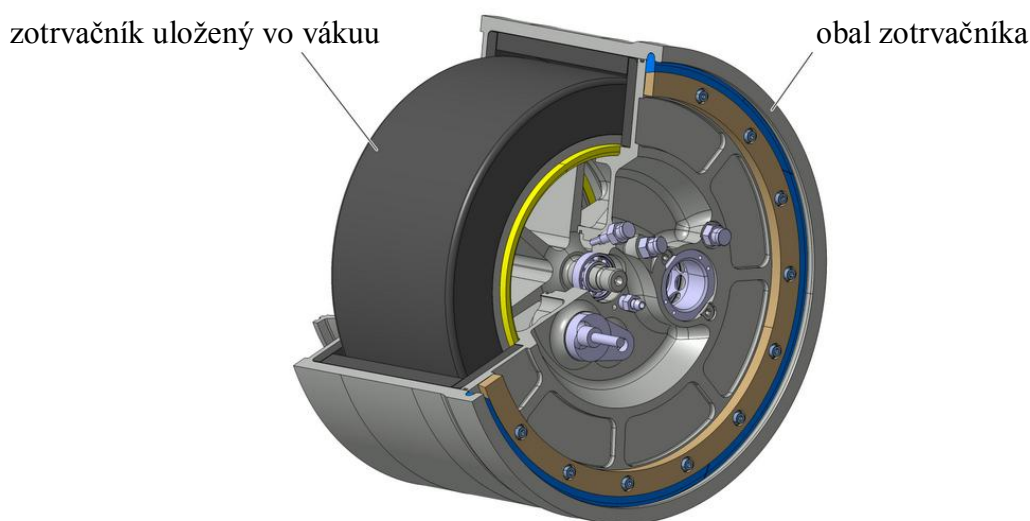
Rekupačné brzdienie je brzdienie, pri ktorom sa kinetická energia premieňa na iný typ energie, ktorý je možné neskôr využiť. Takýto spôsob brzdienia je výhodný najmä z hľadiska energetického (znížené plytvanie energiou). Výhody sú zníženie spotreby vozidla a zvýšenie dojazdu. Nevýhody môžu byť prídavná hmotnosť a pomerne vysoká cena. V tejto oblasti sa očakáva výrazne rozšírenie do bežne predávaných modelov všetkých typov vozidiel od malých motocyklov po ťažké nákladné vozidlá.

6.3.1 ELEKTROMAGNETICKÉ REKUPERAČNÉ BRZDY

Jedná sa o najpoužívanější typ rekupačnej brzdy. Elektromagnetická rekupačná brzda má generátor spojený s hnacím hriadeľom vozidla. Magnetickým polom je vytváraný brzdny moment na rotor a súčasne dochádza k výrobe elektrickej energie. V prípade elektrických a hybridných vozidiel je použitá na dobíjanie akumulátorov a neskôr použitá na pohon vozidla a napájanie elektroniky [22].

6.3.2 ZOTRVAČNÍKOVÉ REKUPERAČNÉ BRZDY

Princíp spočíva v premene kinetickej energie vozidla na rotačnú kinetickú energiu zotrvačníka. Zotrvačník je pripojený prostredníctvom prevodovky k hnaciemu hriadeľu. V prípade potreby môže naakumulovanú energiu vrátiť vozidlu, čo vedie ku krátkodobému zvýšeniu výkonu. Tento typ rekuperácie sa používal aj vo Formule 1 (KERS), a to najmä za účelom krátkodobého zvýšenia výkonu vozidla. Medzi nevýhody tohto systému patrí pomerne vysoká prídavná hmotnosť, komplikovaná konštrukcia a gyroskopický moment, ktorý môže nepriaznivo pôsobiť na ovládateľnosť vozidla. Zotrvačník od firmy Volvo vid' obr. 6.5, ktorého prstenec je vyrobený z uhlíkových vlákien a dosahuje maximálne $1000 \text{ ot} \cdot \text{s}^{-1}$ [22].



Obr. 6.5 Permanentná magnetická odľahčovacia brzda [34]

6.3.3 HYDRAULICKÉ REKUPERAČNÉ BRZDY

Tekutinové rekuperačné brzdy spomaľujú vozidlo generovaním elektrickej energie, ktorú následne využívajú na stlačenie tekutiny. Ako pracovná tekutina sa najčastejšie využíva dusík. Hlavnou výhodou uskladnenia kinetickej energie vozidla v podobe potenciálnej energie stlačenej tekutiny je malá disipácia takto uskladnenej energie v čase. Nevýhodou je relatívne dlhý proces stlačovania a obmedzený výkon [22].

6.4 BRZDNÉ SYSTÉMY

V súčasnej dobe sa kladie veľký dôraz na predchádzanie nehôd spôsobených ľudským faktorom. Spoločnosť Volvo napríklad používa vo svojom vozidle Volvo FH Series, systém CW - EB (Collision Warning with Emergency Brake). Systém kombinuje radar a kamery, ktoré spolupracujú na identifikácii a sledovaní vozidiel vpredu. Systém je navrhnutý tak, aby riešil stacionárne aj pohybujúce sa vozidlá a mohol zabrániť kolízii s pohybujúcim sa cieľom s relatívnou rýchlosťou až $70 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$. Prioritne upozorní vodiča na nebezpečenstvo. Pokiaľ nereaguje na niekoľko odstupňovaných podnetov, automaticky zastaví vozidlo. V Európe bude z legislatívneho hľadiska núdzový brzdný systém použiteľný od novembra 2015 [35].



ZÁVER

Cieľom tejto bakalárskej práce bolo zhrnutie poznania v oblasti brzdenia úžitkových vozidiel, popísanie jednotlivých princípov a konštrukčných riešení slúžiacich k vyvodu brzdneho účinku. Aj keď sú brzdy používané a inovované spoločnosťou už niekoľko tisícok rokov neznamená to, že ich vývoj je na konci. V oblasti brzdenia je stále veľký potenciál prirodzenej evolúcie a to najmä vo využití inak marenej energie premenenej brzdením.

Na oboznámenie čítajúceho s históriou vývoja bŕzd od úplných začiatkov približne pred 7000 rokmi až po začiatok 20. storočia je určená prvá kapitola. Taktiež bolo potrebné zaviesť kapitolu pojednávajúcu o základnom názvosloví a značení jednotlivých symbolov. V tejto kapitole bol taktiež presne definovaný pojem brzdenie podľa normy STN 30 0029-84. V nasledujúcej časti možno porovnať podľa názoru autora pomerne benevolentné požiadavky týkajúce sa brzdneho spomalenia a maximálnej dráhy na zastavenie v jednotlivých kategóriách vozidiel. Výrobcovia vozidiel zväčša bez problémov splňujú požiadavky uvedené v spomínanej tabuľke a limitujúcim faktorom ovplyvňujúcim brzdne spomalenie je príľnavosť medzi pneumatikami a vozovkou.

V oblasti trecích bŕzd sú na ľahších vozidlách používané prioritne kotúčové brzdy s plávajúcimi prípadne pevným strmeňom. Brzdy sú často ovládané hydraulickou sústavou, pri väčších vozidlách najbežnejšie pneumacko-mechanickou brzdovou sústavou. Hlavnou prednosťou v porovnaní s brzdami bubnovými je vyšší brzdny moment a väčšia stabilita brzdneho účinku pri znečistení trecích plôch. Brzdy bubnové sa využívajú častejšie na ťažších vozidlách v kombinácii s pneumacko-mechanickým ovládaním. Výhody bubnových bŕzd sú dlhšia životnosť brzdového obloženia a robustnejšia konštrukcia ktorá čiastočne chráni trecie plochy a ovládacie ústrojenstvo brzdy v extrémnych podmienkach napr. terénne aplikácie, stavebné stroje atď. Aktuálne vývojové trendy naznačujú možnosť opustenia klasických mechanických ovládacích princípov a prechod na čisto elektronické ovládacie brzdne systémy ktorých prepojenie s aktívnymi prvkami bezpečnosti (ABS, ESP, atď.) je jednoduchšie. Takáto zmena si však vyžaduje zvýšenie spoľahlivosti pomerne problémovej elektroniky, a následné legislatívne povolenia. Podľa názoru autora je možný rozmach daných systémov v sériovej výrobe otázka minimálne desiatich rokov.

Niektoré ťažké nákladné vozidlá majú okrem klasických trecích bŕzd aj takzvané brzdy odľahčovacie. Tieto brzdy slúžia primárne na odľahčenie trecích bŕzd ktoré sa pri dlhšie trvajúcim brzdení môžu zahrievať a strácať tak svoj brzdny účinok. Na trhu existuje niekoľko typov a modelov týchto bŕzd. Autor práce predpokladá že v budúcnosti budú pohony vozidiel zabezpečené primárne elektromotormi. Z tohto dôvodu bude možné rekuperačné brzdenie použiť ako odľahčovaciu brzdú, energiu premenenú brzdením následne uskladniť v akumulátoroch prípadne využiť k okamžitej spotrebe.



Zoznam Použitých Zdrojov

- [1] *Air Brake Test* [online]. [cit. 2015-03-19]. Dostupné z: <http://www.proprofs.com/quiz-school/story.php?title=NTM5MTgx>
- [2] *BRAKE ROTORS* [online]. [cit. 2015-03-15]. Dostupné z: <http://stoptech.com/products/rotors/rotors-overview>
- [3] *Braking Systems* [online]. [cit. 2015-04-25]. Dostupné z: http://www2.mercedes-benz.co.uk/content/unitedkingdom/mpc/mpc_unitedkingdom_website/en/home_mpc/truck/home/new_trucks/model_range/the-atego/the-atego/facts/Technology/braking-systems.0003.html
- [4] *Brzdy a brzdomý systém automobilu* [online]. 2011 [cit. 2015-02-22]. Dostupné z: <http://www.autorubik.sk/technika/brzdy-a-brzdovy-system-automobilu/>
- [5] *BRZDY VOZIDEL A JEJICH VLIV NA BEZPEČNOST* [online]. [cit. 2015-02-16]. Dostupné z: <http://www.vutbr.cz/usi/dokumenty/dokumenty-ke-stazeni-f23776/bezpecnost-vozidel-silnicniho-provozu-materialy-k-predmetu-d75943/04-brzdy-p70452>
- [6] Cummins shifting focus from emissions to fuel economy [online]. 2013 [cit. 2015-04-19]. Dostupné z: <http://www.successfuldealer.com/cummins-shifting-focus-from-emissions-to-fuel-economy/>
- [7] *DBA Brake Packages & AP Racing Brake Kits* [online]. 2009 [cit. 2015-04-19]. Dostupné z: <http://www.rx8club.com/vendor-classifieds-155/dba-brake-packages-ap-racing-brake-kits-187280/>
- [8] *Electronic wedge brake (EWB)* [online]. 2005 [cit. 2015-04-19]. Dostupné z: http://www.siemens.com/press/pool/de/pp_ct/2005/sc_upload_file_soc200512_02_300dpi_1455709.jpg
- [9] *Engine Compression Retarders* [online]. [cit. 2015-04-17]. Dostupné z: <http://www.gonefcon.com/trucktcom/retarder.htm#engcomp>
- [10] FAUS, Pavel a Miroslav OLŠAN. *Autoškola - C, D, E, T: učebnice pro řidiče nákladních vozidel, autobusů a traktorů*. Vyd. 1. Brno: Computer Press, 2007, 166 s. ISBN 978-80-251-1715-6.
- [11] HILVERT, Juraj. *Výkladový slovník automobilizmu*. Bratislava: DLX Slovakia, 2007. 454 s. ISBN 978-80-900972-8-5.
- [12] *História kolesa* [online]. 2011 [cit. 2015-02-21]. Dostupné z: <http://www.techportal.sk/doprava/137-historia-kolesa>
- [13] *Jake Brake Functional Diagram* [online]. [cit. 2015-02-16]. Dostupné z: http://www.gonefcon.com/trucktcom/jake_brake.gif
- [14] JAN, Zdeněk a Bronislav ŽDÁNSKÝ. *Automobily: Motory*. 7. vyd. Brno: AVID, 2012, 179 s. ISBN 978-80-87143-21-6.



- [15] JAN, Zdeněk, Bronislav ŽDÁNSKÝ a Aleš VÉMOLA. *Automobily*. Brno: CERM, 2003, 266 s. ISBN 80-720-4262-9.
- [16] *Meritor Air Disc Brakes EX225* [online]. 2012 [cit. 2015-03-14]. Dostupné z: <https://www.youtube.com/watch?v=H6dsc1ZE7ys>
- [17] MOČKOR, R. *Stavba motorových vozidiel. I. časť - Podvozkové časti automobilov*. Bratislava: SVŠT v Bratislave, 1990. 277 s. ISBN 80-227-0296-X.
- [18] *Moderné elektronické systémy v automobiloch* [online]. [cit. 2015-04-19]. Dostupné z: <http://rybiansky.szm.com/elc.pdf>
- [19] *MOT'or*. Bratislava: Elektro-energo, s.r.o., 3/2013. ISSN 1336-4200.
- [20] *MOT'or*. Bratislava: Elektro-energo, s.r.o., 4/2014. ISSN 1336-4200.
- [21] *Nové trendy v konštrukcii brzd a ovládacích sústav* [online]. 2006 [cit. 2015-03-25]. Dostupné z: <http://www.brzdnevl.wz.cz/brzdy5-1.html>
- [22] *Regenerative braking* [online]. [cit. 2015-04-26]. Dostupné z: http://energyeducation.ca/encyclopedia/Regenerative_braking
- [23] SHIGLEY, Joseph Edward, Charles R MISCHKE a Richard G BUDY-NAS. *Konstruování strojních součástí*. 1. vyd. Editor Martin Hartl, Miloš Vlk. Brno: VUTUM, 2010, 1159 s. ISBN 978-80-214-2629-0.
- [24] *Sliding Gate Exhaust Brake Valve* [online]. [cit. 2015-02-16]. Dostupné z: http://www.gonefcon.com/trucktcom/gate_retrdr.gif
- [25] Svět motorů 4/2007 : Velké dějiny maličkosti – Brzdy, text Zdeněk Vacek, vydavatel Axel Springer Praha a.s., ISSN 0039 – 7016.
- [26] ŠOB, František. *Hydromechanika*. Brno: Akademické nakladatelství CERM s.r.o., 2002, 238 s. Učební texty vysokých škol (Vysoké učení technické v Brně). ISBN 80-214-2037-5.
- [27] *Telma - Principe de fonctionnement - AF5 + iRCS* [online]. 2013 [cit. 2015-04-18]. Dostupné z: <https://www.youtube.com/watch?v=91FoDnEK95o>
- [28] *THE BRAKE BIBLE* [online]. [cit. 2015-04-19]. Dostupné z: http://www.carbibles.com/brake_bible.html
- [29] *The oldest wooden wheel in the world is coming back to Ljubljana* [online]. 2012 [cit. 2015-02-21]. Dostupné z: http://www.mgml.si/images/iman/virtual_picture.022.jpg
- [30] *Theory and Operation of The Jake Brake Engine Brake* [online]. 2011 [cit. 2015-02-16]. Dostupné z: <https://www.youtube.com/watch?v=7FSkNSOeTWM>
- [31] VLK, František. *Podvozky motorových vozidel*. 2. vyd. Brno: František Vlk, 2003, 392 s. ISBN 80-239-0026-9.



- [32] *Voith Magnetarder* [online]. [cit. 2015-04-25]. Dostupné z: <http://www.voith.com/en/products-services/power-transmission/retarders-bus/voith-magnetarder-10466.html>
- [33] *Voith Retarder Animation - Function Retarder VR123+ and VR119* [online]. 2012 [cit. 2015-04-19]. Dostupné z: <https://www.youtube.com/watch?v=bXai8z99lUg>
- [34] *Volvo hybrid drive: 60,000 rpm flywheel, 25% boost to mpg* [online]. 2013 [cit. 2015-04-26]. Dostupné z: <http://www.extremetech.com/extreme/154405-volvo-hybrid-drive-60000-rpm-flywheel-25-boost-to-mpg>
- [35] *Volvo Trucks introduces Collision Warning with Emergency Brake* [online]. 2012 [cit. 2015-04-26]. Dostupné z: <http://www.volvotrucks.com/trucks/global/en-gb/newsmedia/pressreleases/Pages/pressreleases.aspx?pubId=14200>
- [36] *Vynález, ktorý hýbe svetom* [online]. 2013 [cit. 2015-02-21]. Dostupné z: <http://archiv.extraplus.sk/3097/vynalez-ktory-hybe-svetom>



ZOZNAM POUŽITÝCH SKRATIEK A SYMBOLOV

Symbol	Rozmer	Veličina
μ	[-]	súčiniteľ šmykového trenia
a	[m·s ⁻²]	okamžité spomalenie
a_B	[m]	kolmá vzdialenosť medzi pôsobiskom sily N_i a osou otáčania čelúste
a_{mft}	[m·s ⁻²]	úplné brzdné spomalenie
a_{ms}	[m·s ⁻²]	stredné spomalenie na dráhe pre zastavenie
c	[m]	rameno
c^*	[-]	vnútorný prevod brzdy
d	[m]	rameno
dt	[s]	diferenciál času
dv	[m·s ⁻¹]	diferenciál rýchlosti
F_A	[N]	maximálna nožná sila
F_f	[N]	celková brzdná sila
F_r	[N]	maximálna ručná sila
h	[m]	kolmá vzdialenosť medzi pôsobiskom sily K_i a osou otáčania čelúste
K	[N]	ovládacia sila
M_B	[N·m]	brzdny moment
N	[N]	prítlačná sila
r	[m]	kolmá vzdialenosť brzdného segmentu od osi otáčania kotúča
S	[m ²]	plocha piestu
s_0	[m]	dráha na zastavenie
s_1	[m]	brzdná dráha
T	[N]	trecia sila
t_0	[s]	okamih začiatku pôsobenia na ovládacie ústrojenstvo
t_1	[s]	okamih zvyšovania brzdného tlaku v potrubí
t_2	[s]	okamih kedy sa začne prejavovať spomalenie vozidla
t_3	[s]	okamih kedy ovládacie ústrojenstvo dosiahne požadovanú polohu
t_4	[s]	priesečník predĺženia kriviek priebehu rýchlosti
t_5	[s]	okamih kedy tlak v potrubí dosiahol konštantnú hodnotu



t_6	[s]	okamih kedy dosiahlo spomalenie vozidla konštantnú hodnotu
t_7	[s]	okamih zastavenia vozidla
t_a	[s]	čas odozvy
t_b	[s]	čas brzdenia
t_s	[s]	čas nábehu brzdenia
t_w	[s]	účinný čas brzdenia
v_0	[m·s ⁻¹]	rýchlosť v čase t_0

Skratka	Význam
ABS	Antiblockiersystem
ASR	Antriebsschlupfregelung
CAN	controller area network
CWEB	Collision Warning with Emergency Brake
ČSN	Česká Technická Norma
DOT	Department of Transportation
EBS	electronic braking system
ECU	electronic control unit
EDS	Electronic Differential System
ESP	Elektronisches Stabilitätsprogramm
EWB	Electronic Wedge Brake
KERS	Kinetic energy recovery system
M1	vozidlá na prepravu cestujúcich, najviac s ôsmimi sedadlami okrem sedadla pre vodiča
M2	vozidlá na prepravu cestujúcich, s viac ako ôsmimi sedadlami okrem sedadla pre vodiča, s najväčšou prípustnou celkovou hmotnosťou do 5 000 kg
M3	vozidlá na prepravu cestujúcich, s viac ako ôsmimi sedadlami okrem sedadla pre vodiča, s najväčšou prípustnou celkovou hmotnosťou nad 5 000 kg
N1	vozidlá na prepravu tovaru s najvyššou celkovou prípustnou hmotnosťou do 3500 kg
N2	vozidlá na prepravu tovaru s najvyššou celkovou prípustnou hmotnosťou od 3500 kg do 12000 kg
N3	vozidlá na prepravu tovaru s najvyššou celkovou prípustnou hmotnosťou nad 12000 kg
STN	Slovenská Technická Norma
USA	United States of America
VGT	Variable geometry turbocharger